

24. Les énergies non renouvelables

24.2 - Pétrole

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Thomas Lamalle, M. Ing

Bastien Thomasset, M.Sc.A.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- Variations de la consommation
- Variations de la production
- Variations des réserves
- Les prix
- Le Moyen-Orient
- L'ultime territoire
- L'aube de l'ère post-pétrole

Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- Variations de la consommation
- Variations de la production
- Variations des réserves
- Les prix
- Le Moyen-Orient
- L'ultime territoire
- L'aube de l'ère post-pétrole

Introduction et objectifs

- Distinguer les énergies non renouvelables
 - On pense au pétrole, au gaz, au charbon et aux combustibles nucléaires... car on les consomme plus rapidement qu'ils ne se régénèrent.
 - Mais est-ce aussi simple?
 - Et la forêt amazonienne ou boréale? Et le maïs? Le colza?

Introduction et objectifs

- Peut-on se passer du trio d'énergies fossiles?
 - Il n'y a pas une seule réponse à cette question.
 - Oui, au taux où on les consomme et auquel on les extrait, il en manquera dans 100, 200, 300 ans? Peu importe, l'humanité devra s'en passer.
 - Non, le **charbon**, le **pétrole** et le **gaz** devraient nous permettre une transition plus facile vers une nouvelle organisation sociale basée sur une consommation plus modérée de l'énergie provenant de sources plus diversifiées.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- ***Le pétrole renouvelable, classique et « sale »***
- Variations de la consommation
- Variations de la production
- Variations des réserves
- Les prix
- Le Moyen-Orient
- L'ultime territoire
- L'aube de l'ère post-pétrole

Le pétrole renouvelable

- À quelle échelle le pétrole est-il renouvelable?
 - En comprimant le temps géologique sur une année:
 - Les organismes vivants sont apparus dans les océans en mai.
 - Les plantes et animaux ont émergé vers la fin de novembre et les marais qui ont formés **les premiers dépôts de charbon** ont existé pendant **4 jours au début de décembre**.
 - Les dinosaures sont devenus importants en mi-décembre, mais ils sont disparus le 26 décembre (jour de formation de « nos Rocheuses »).

Le pétrole renouvelable

- À quelle échelle le pétrole est-il renouvelable?
 - En comprimant le temps géologique sur une année:
 - Nous sommes apparus en soirée le 31 décembre. La dernière glaciation s'est terminée 1m15s avant minuit.
 - Rome a dominé pendant 5 secondes, de 23:59:45 à 23:59:50, et Colomb a découvert l'Amérique 3 secondes avant minuit.
 - Il y a tout juste **1 seconde** que l'on consomme du pétrole.

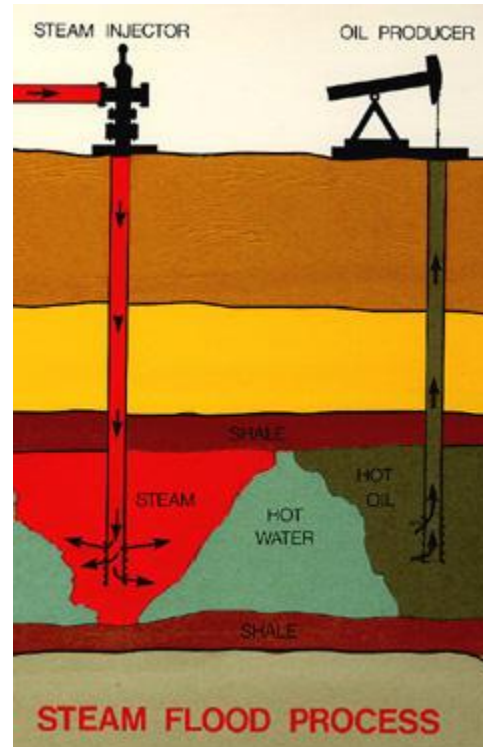
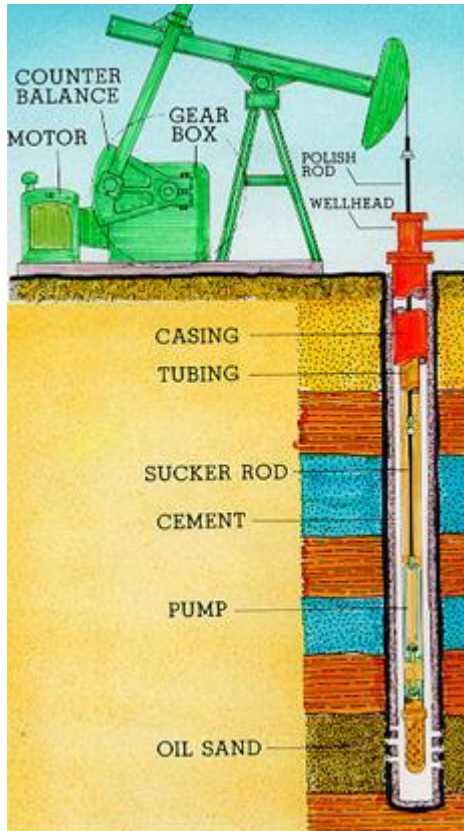
1 seconde vs 1 mois ou environ 1 000 000 : 1

Le pétrole renouvelable

- Sur cette échelle, pendant combien de temps en disposerons-nous encore?
 - 1 seconde, 3 secondes (alias 500 ans)?
- Combien de temps faudra-t-il pour en retrouver du neuf?
 - 1 mois (alias 5 - 50 millions d'années)?
- Dans les deux cas, je crois mes réponses optimistes.

Le pétrole classique

- Exemple production typique



Independent Refiners

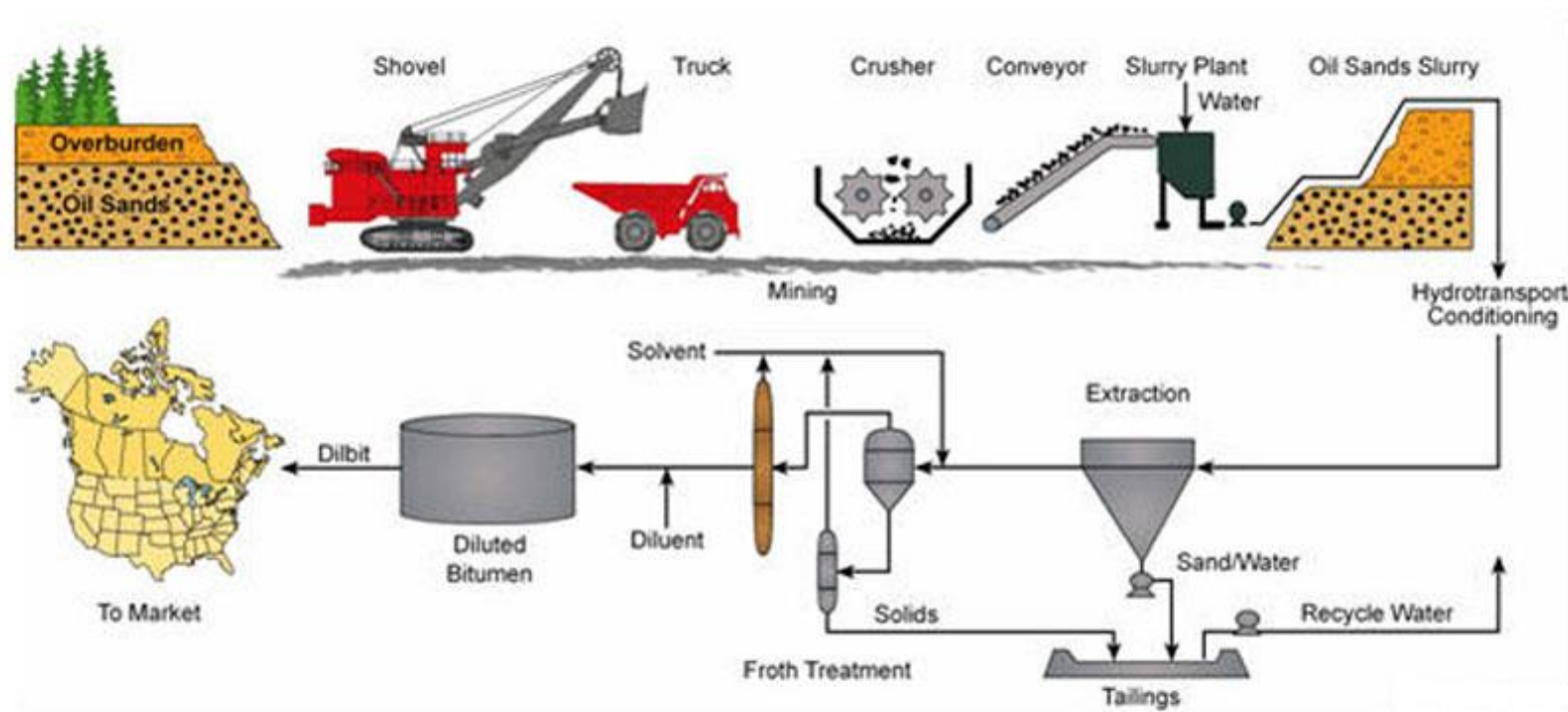
- Un résumé: de l'exploration au raffinage (Trent Stanley Films inc.)
 - <https://www.youtube.com/watch?v=8W8SW98-sXQ>

California Department of Conservation

Le pétrole sale

- Sables bitumineux

Kearl Process Overview



Imperial Oil

Le pétrole sale

- Sables bitumineux



Plan de cette présentation

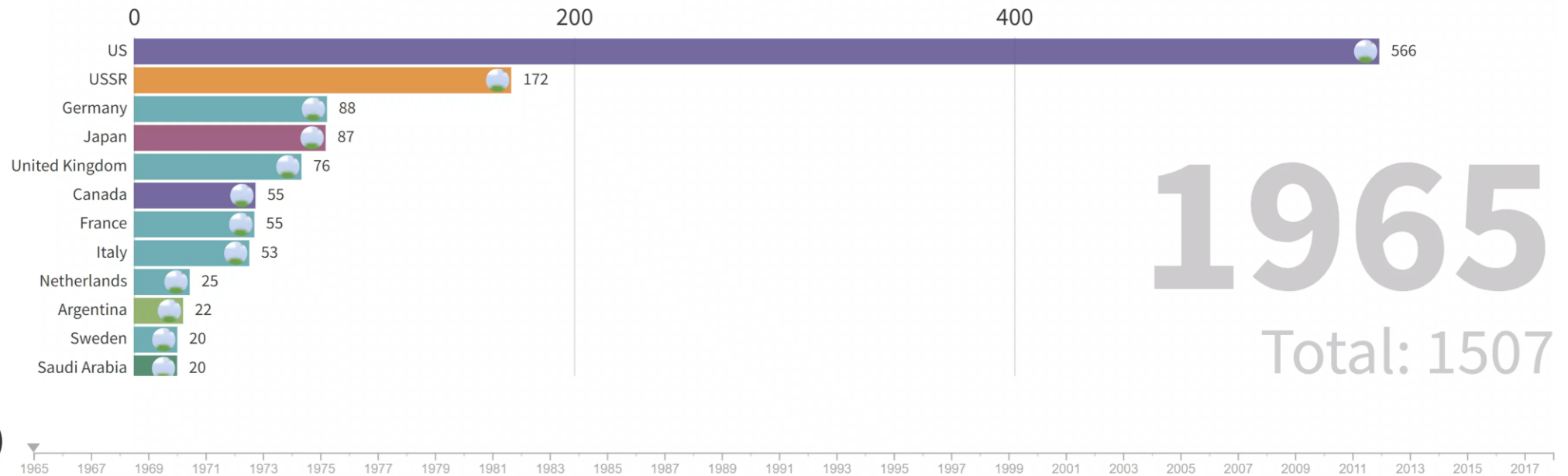
- Introduction et objectifs
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- ***Variations de la consommation***
- Variations de la production
- Variations des réserves
- Les prix
- L'ultime territoire
- L'aube de l'ère post-pétrole

Variations de la consommation

Consommation de pétrole (Mt)

1965 - 2018

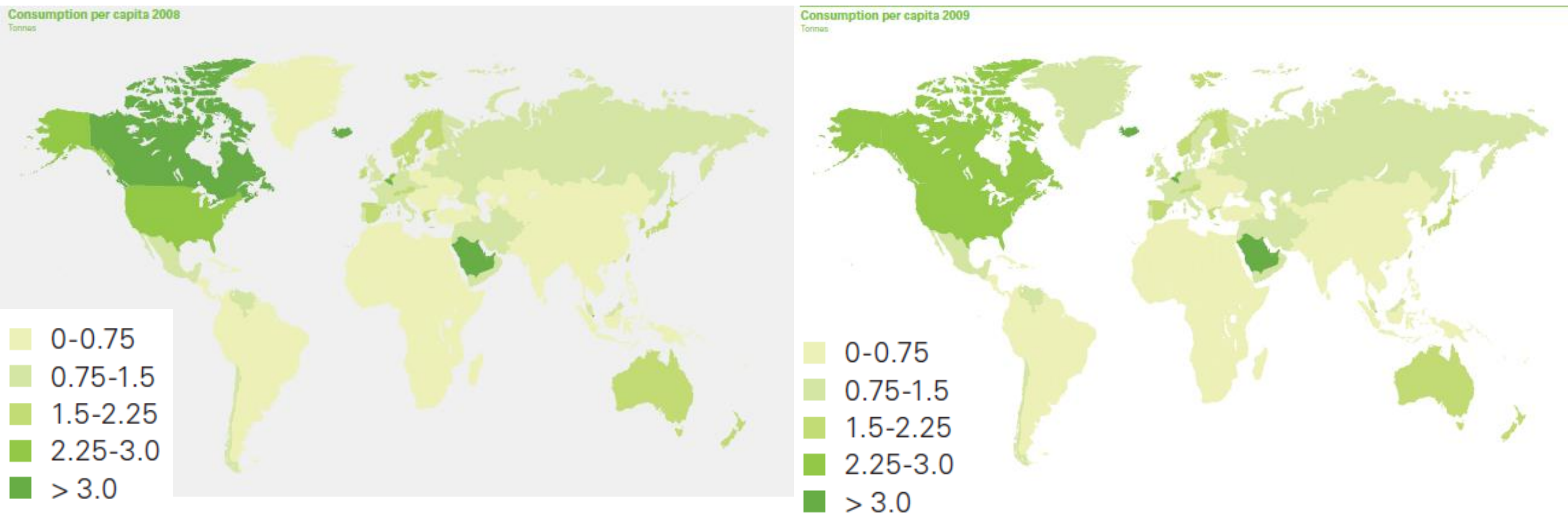
Afrique Amériques Centrale et du Sud Asie Pacifique Europe CEI Amérique du Nord Moyen Orient



Source: [BP stats review 2019](#)

<https://public.flourish.studio/visualisation/1789936/embed>

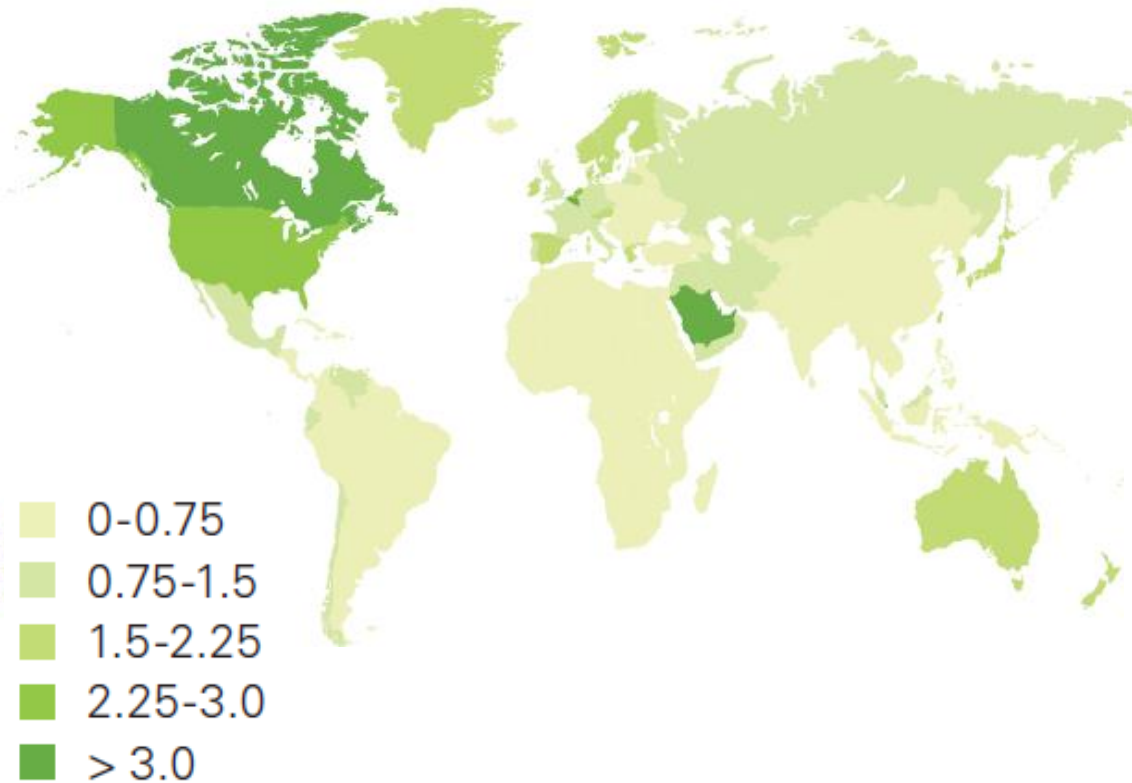
Variations de la consommation : 2008 - 2009



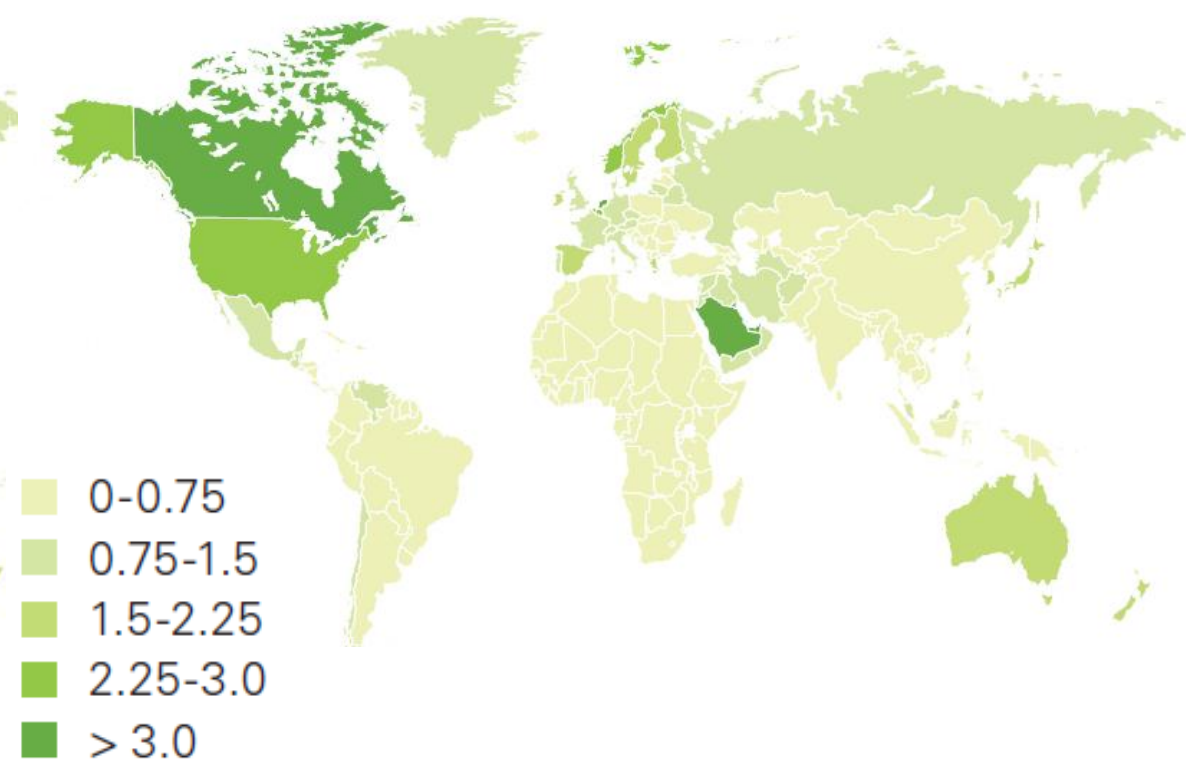
La crise économique de 2008 paraît évidente sur ces deux graphiques, pensez dès lors à celle de 2020

Variations de la consommation : 2010 - 2011

Consumption per capita 2010
Tonnes



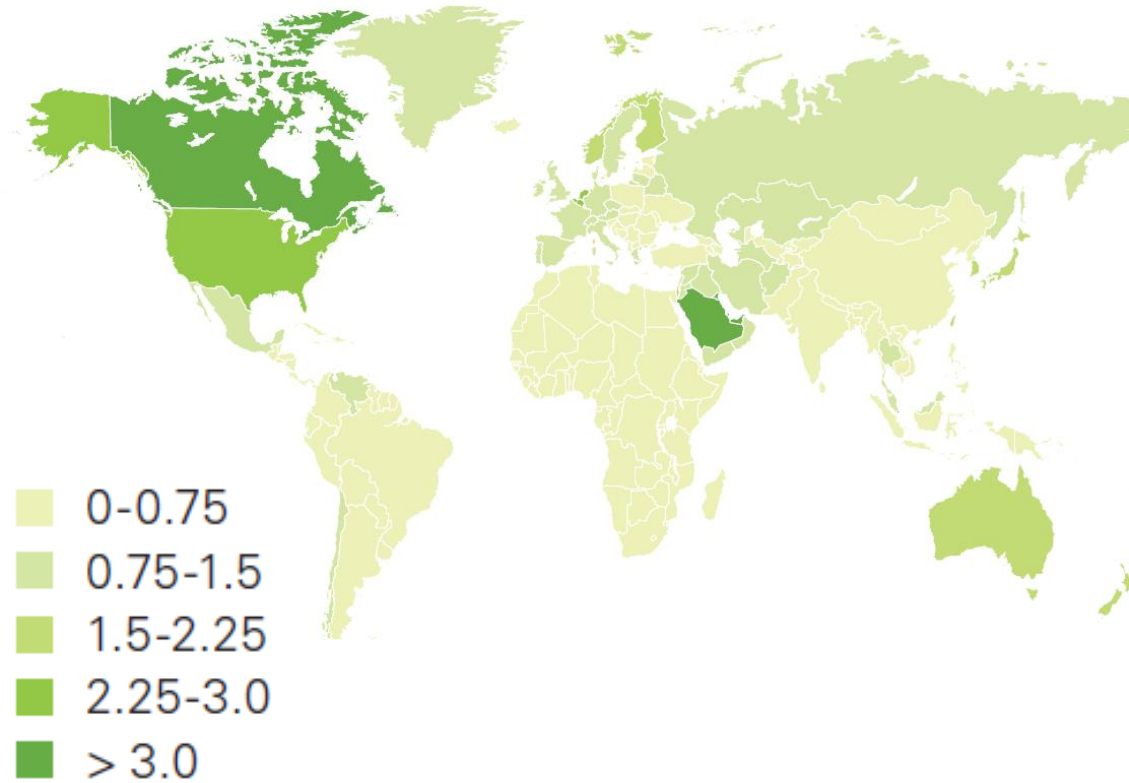
Consumption per capita 2011
Tonnes



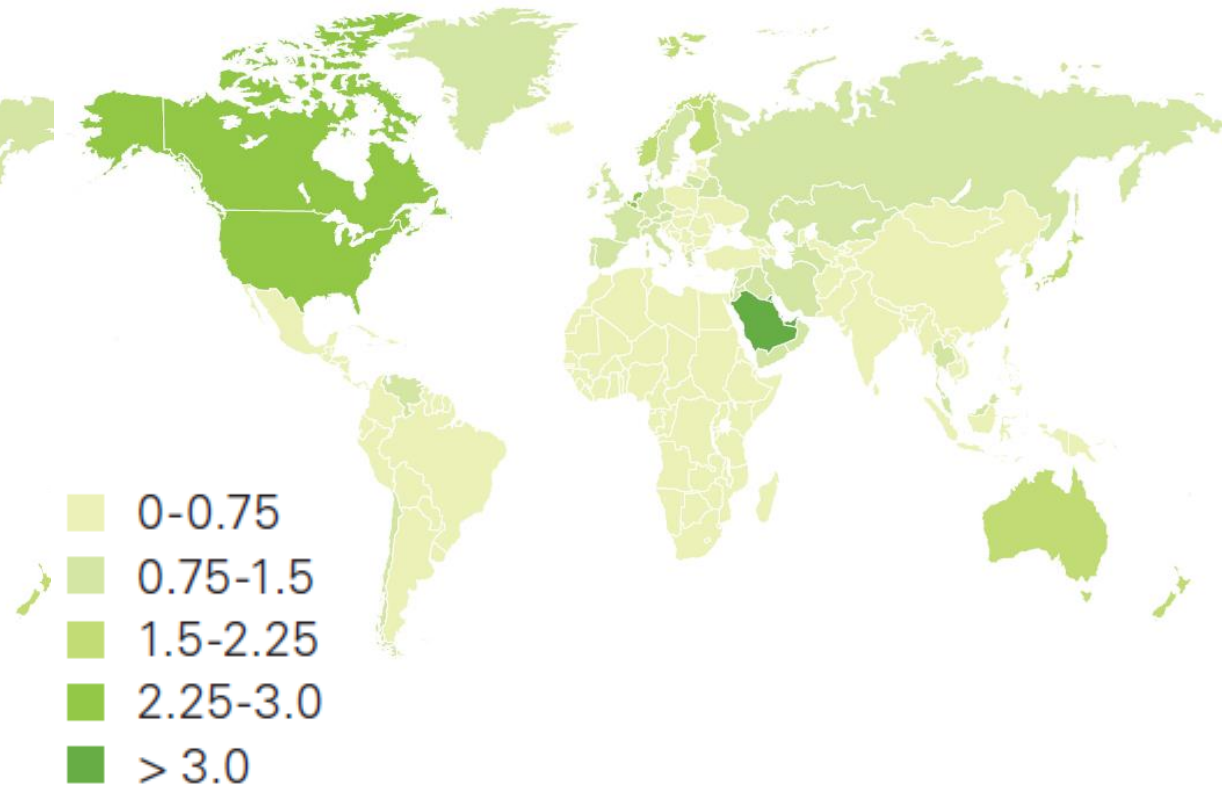
**Le Canada, toujours parmi les plus grands consommateurs par capita.
Ici les leaders: UAE, Luxembourg, Belgique, Pays-bas, Norvège**

Variations de la consommation : 2012 - 2013

Consumption per capita 2012
Tonnes



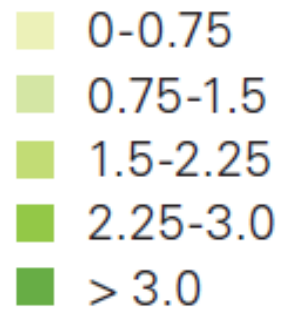
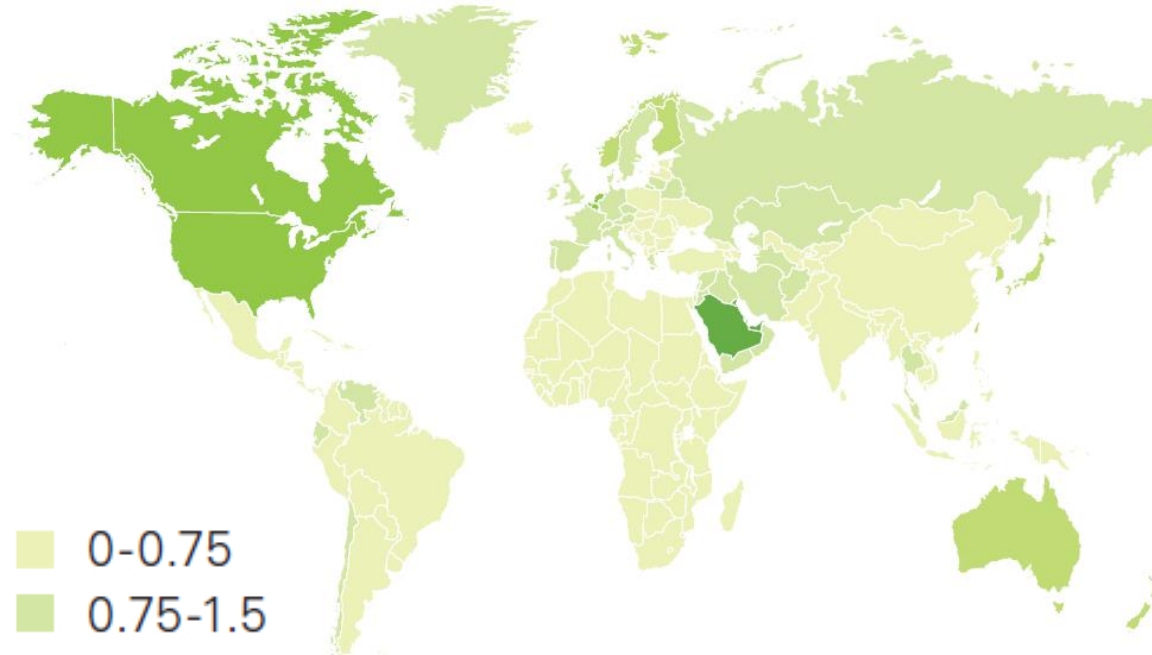
Consumption per capita 2013
Tonnes



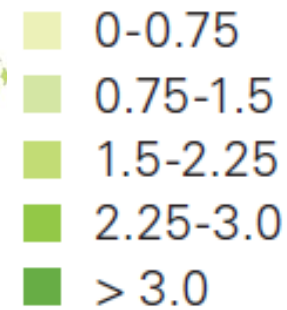
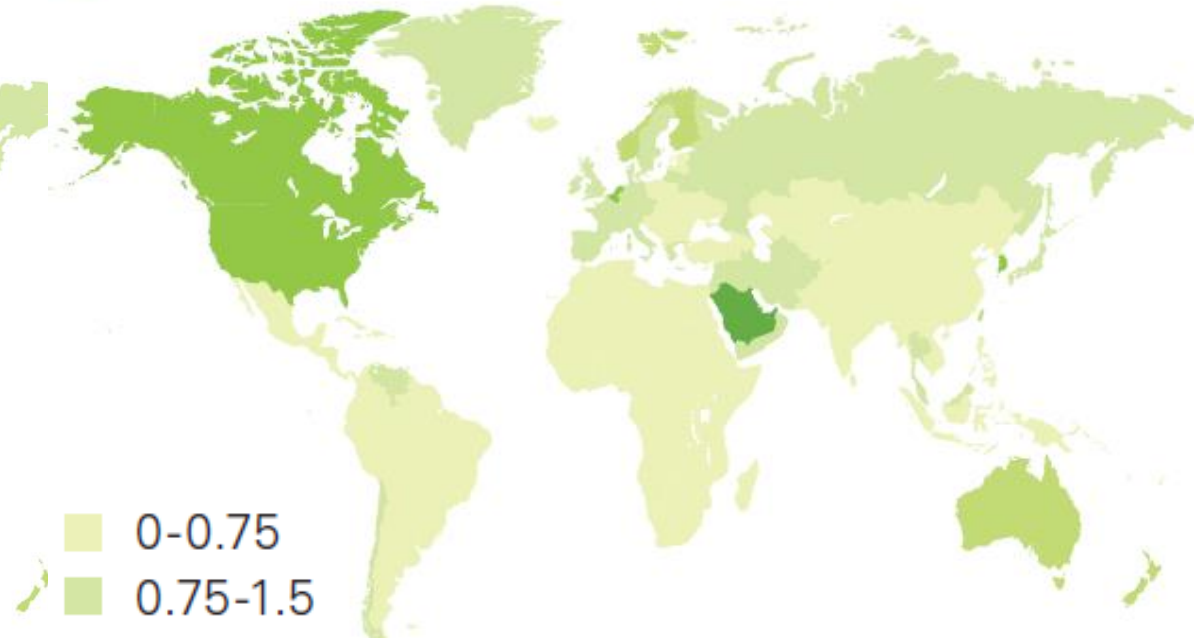
**Le Canada parvient à freiner sa consommation.
La Belgique et les Pays-Bas n'y peuvent que peu de choses (très dépendants).**

Variations de la consommation : 2014 - 2015

Consumption per capita 2014
Tonnes



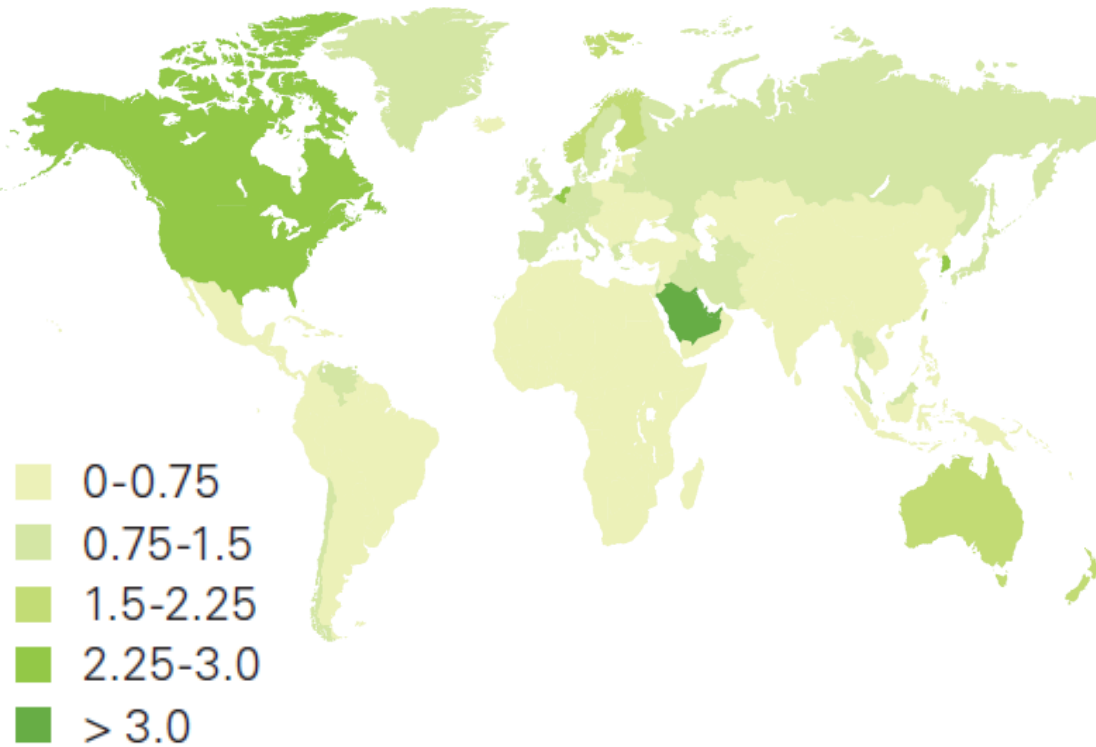
Oil: Consumption per capita 2015
Tonnes



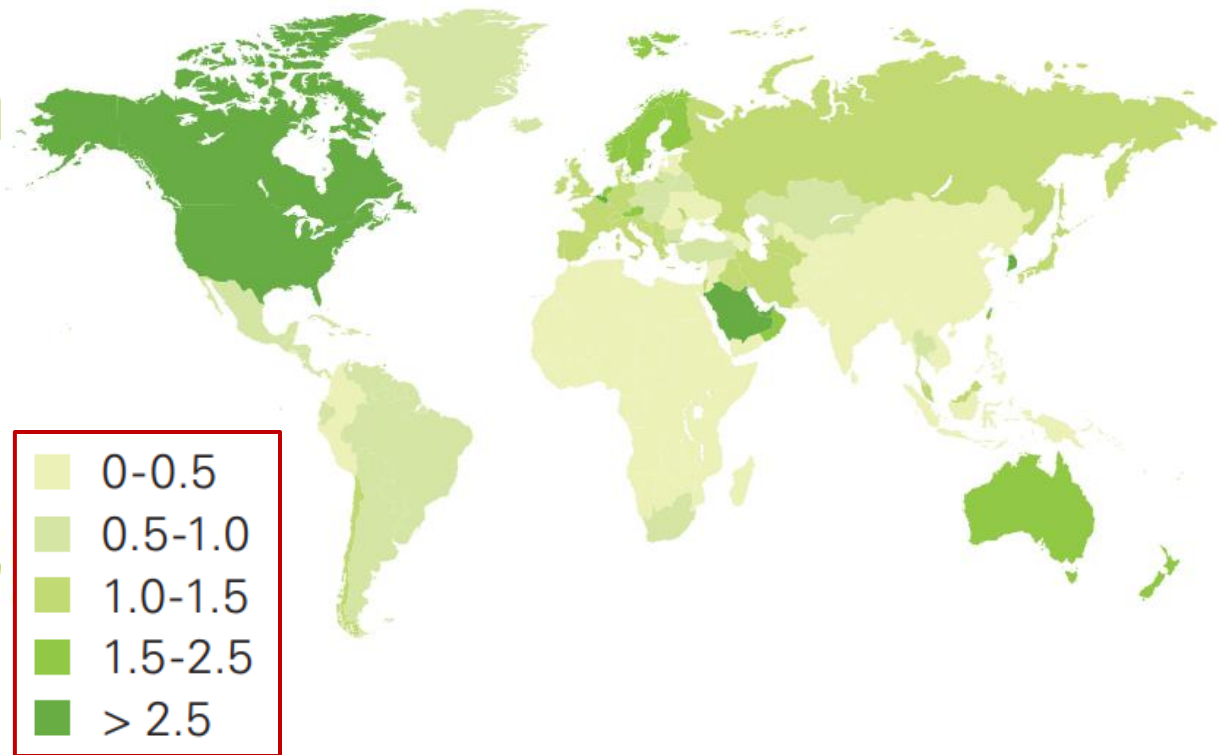
**Seules des exceptions se maintiennent au-delà de 3 T/cap :
Le Golfe**

Variations de la consommation : 2016 - 2017

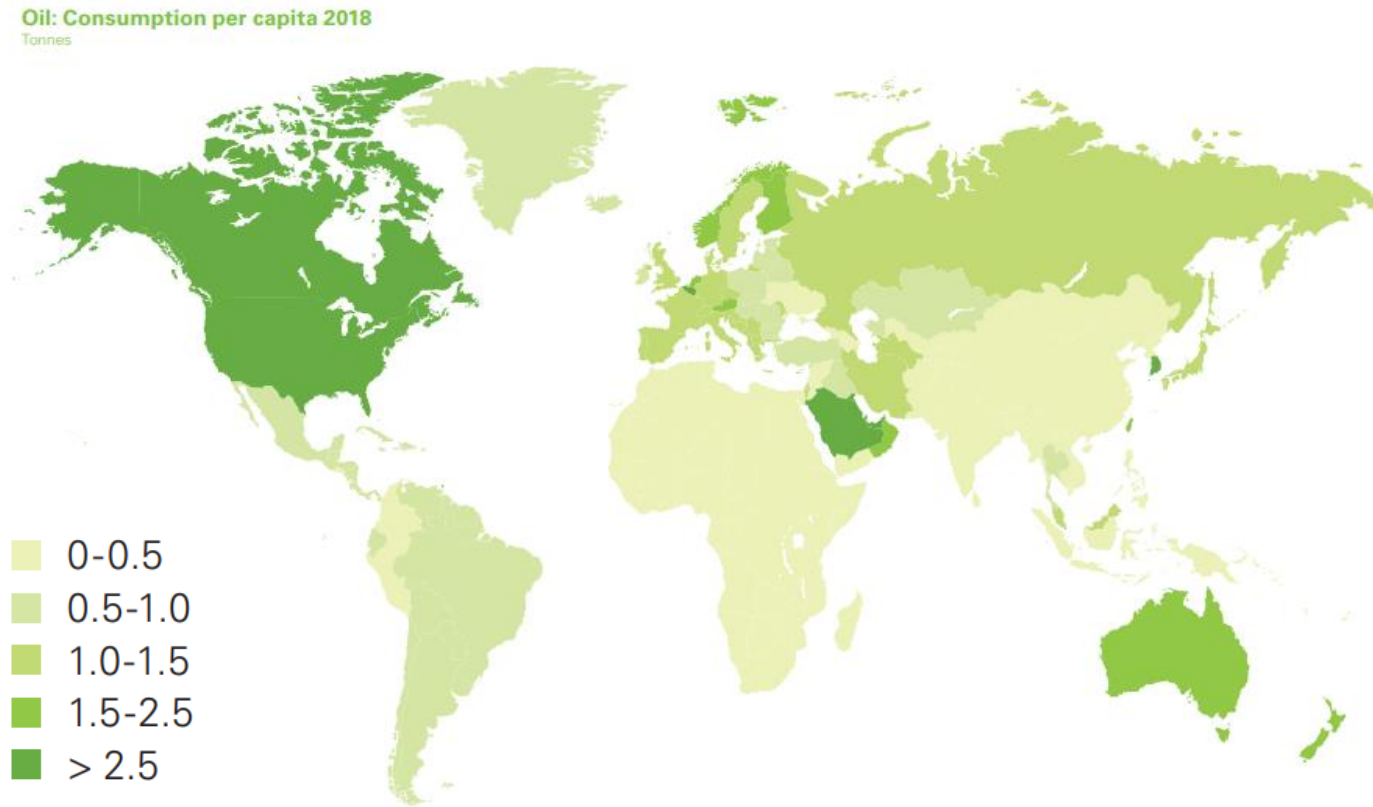
Oil: Consumption per capita 2016
Tonnes



Oil: Consumption per capita 2017
Tonnes



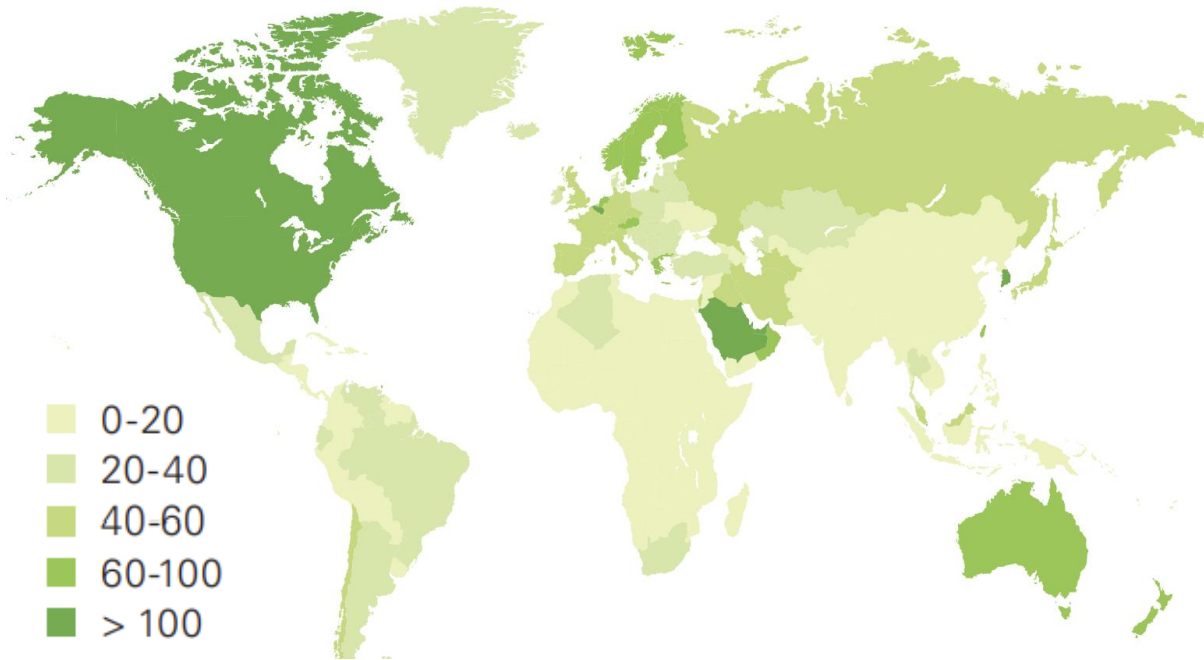
Variations de la consommation : 2018



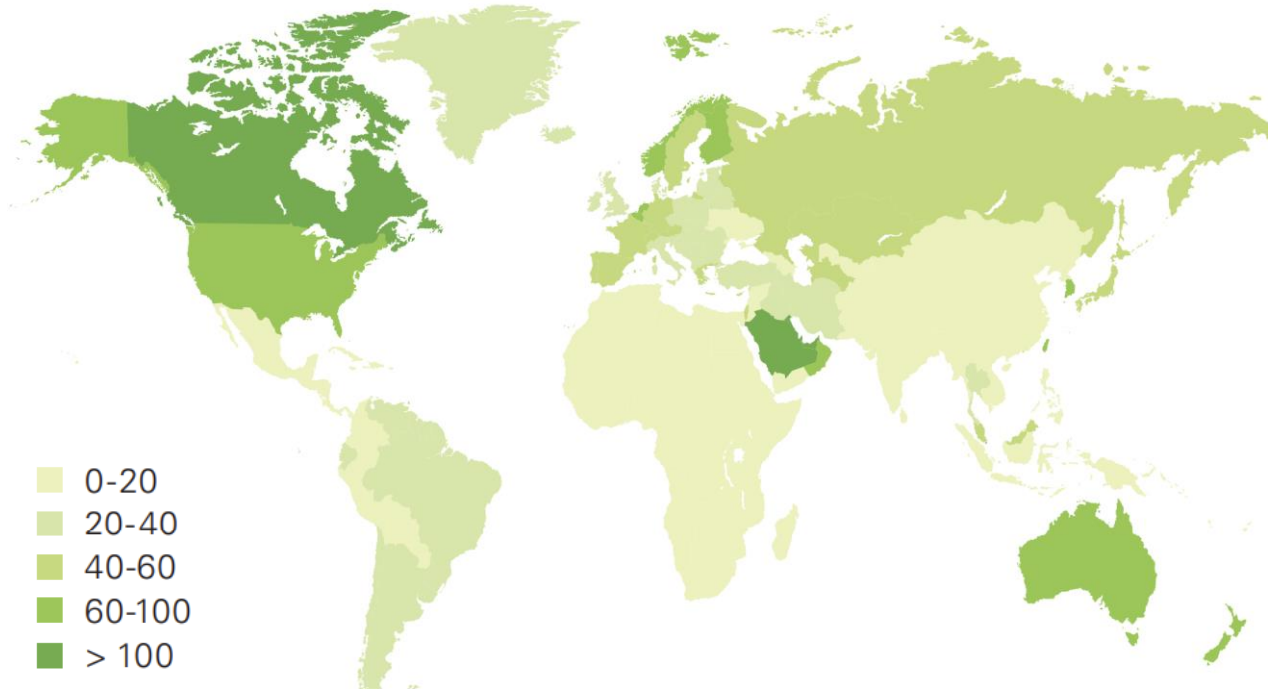
Le Canada, encore et toujours parmi les plus grands consommateurs par capita.

Variations de la consommation : 2019 - 2020

Oil: Consumption per capita 2019
GJ per capita



Oil: Consumption per capita 2020
GJ per capita



Rappel : 1 TEP = 42 GJ

Consommation de pétrole influencé par la COVID 19 ?

Variations de la consommation

- La consommation selon BP

Oil: Consumption in exajoules*

Exajoules	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Growth rate per annum			Share 2020	
										2019	2020	2020		2009-19
Canada	4.57	4.58	4.64	4.61	4.61	4.62	4.61	4.57	4.73	4.78	4.26	-11.1%	0.9%	2.5%
Mexico	3.91	3.97	4.04	3.93	3.75	3.70	3.73	3.59	3.51	3.24	2.46	-24.0%	-1.8%	1.4%
US	35.61	34.91	34.11	34.70	34.94	35.66	35.92	36.28	37.14	37.13	32.54	-12.6%	0.6%	18.7%
Total North America	44.08	43.46	42.78	43.24	43.30	43.99	44.27	44.44	45.38	45.15	39.27	-13.3%	0.4%	22.6%
Argentina	1.18	1.22	1.30	1.38	1.37	1.39	1.35	1.34	1.27	1.15	1.03	-10.1%	0.5%	0.6%
Brazil	4.54	4.83	4.98	5.26	5.43	5.09	4.83	4.90	4.72	4.81	4.61	-4.5%	1.5%	2.7%
Chile	0.69	0.76	0.76	0.73	0.71	0.72	0.76	0.73	0.76	0.76	0.69	-9.1%	-0.3%	0.4%
Colombia	0.51	0.52	0.57	0.56	0.59	0.63	0.65	0.63	0.65	0.68	0.55	-19.0%	3.5%	0.3%
Ecuador	0.45	0.46	0.47	0.50	0.53	0.51	0.48	0.47	0.51	0.49	0.40	-19.8%	2.5%	0.2%
Peru	0.38	0.42	0.42	0.44	0.43	0.46	0.49	0.51	0.52	0.54	0.40	-24.9%	4.1%	0.2%
Trinidad & Tobago	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	-3.2%	-1.2%	♦
Venezuela	1.51	1.46	1.59	1.71	1.52	1.42	1.08	1.00	0.82	0.59	0.48	-18.6%	-8.4%	0.3%
Other S. & Cent. America	2.45	2.51	2.50	2.43	2.44	2.57	2.67	2.66	2.69	2.74	2.37	-13.7%	1.1%	1.4%
Total S. & Cent. America	11.80	12.27	12.67	13.12	13.11	12.90	12.42	12.33	12.04	11.84	10.62	-10.6%	0.5%	6.1%
Total World	172.53	174.19	176.64	178.54	179.65	183.63	186.87	189.50	191.33	191.89	174.20	-9.5%	1.4%	100.0%
of which: OECD	90.50	89.26	88.53	88.02	87.07	88.43	89.53	90.20	90.86	90.16	78.52	-13.1%	♦	45.2%
Non-OECD	82.02	84.93	88.10	90.52	92.58	95.20	97.34	99.30	100.46	101.73	95.67	-6.2%	2.8%	54.9%
European Union	24.78	24.02	23.05	22.47	22.02	22.38	22.81	23.20	23.25	23.17	20.03	-13.8%	-0.8%	11.5%

En 2019, 191.89 EJ, contre 174.2 EJ en 2020

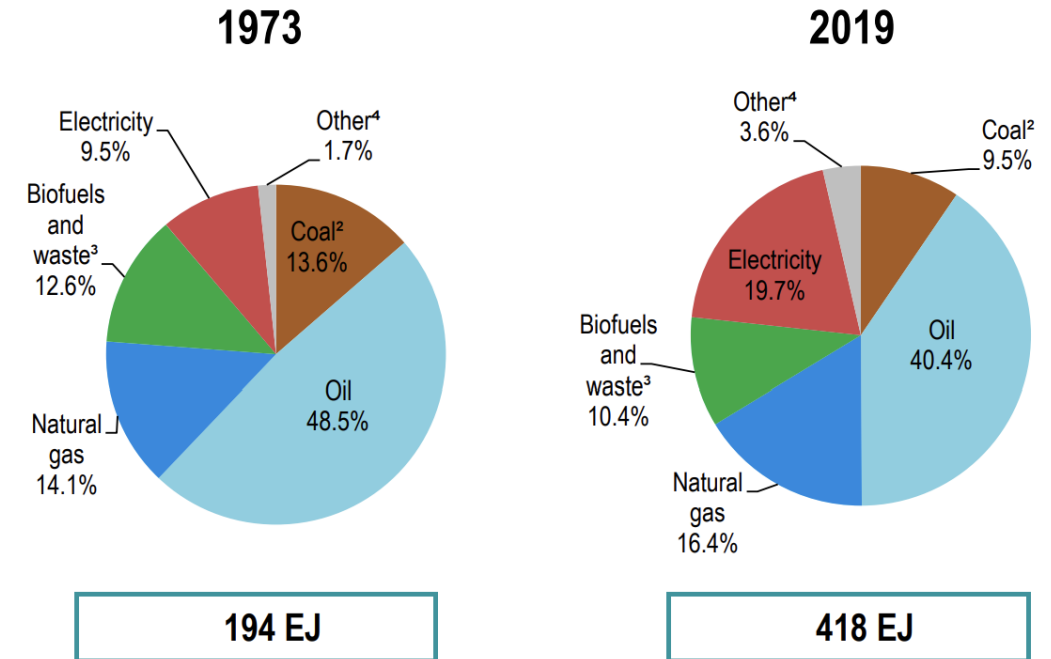
Source: BP Stats , 2021

Variations de la consommation

- La consommation selon l'IEA

**En 2019, 40,4 % de 418 EJ
soit 168.872 EJ**

Share of world total final consumption by source, 1973 and 2019



1. World includes international aviation and international marine bunkers.
 2. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.
 3. Data for biofuels and waste final consumption have been estimated for a number of countries.
 4. Includes heat, solar thermal and geothermal.
- Source: [IEA, World Energy Balances, 2021](#).

Variations de la consommation

Simplified energy balance table

World energy balance, 2019

(EJ)

SUPPLY AND CONSUMPTION	Coal ¹	Crude oil	Oil products	Natural gas	Nuclear	Hydro	Biofuels and waste ²	Other ³	Total
Production	167.549	190.442	-	143.639	30.461	15.195	56.539	13.513	617.338
Imports	35.644	102.662	56.858	42.995	-	-	1.341	2.589	242.089
Exports	-37.098	-102.077	-60.177	-44.313	-	-	-1.076	-2.606	-247.347
Stock changes	-3.720	-0.177	-0.167	-1.537	-	-	0.009	-	-5.591
TES	162.376	190.851	-3.486	140.784	30.461	15.195	56.813	13.496	606.490
Transfers	-0.104	-9.823	11.218	-	-	-	-0.000	-	1.291
Statistical diff.	-1.850	0.839	-0.107	-0.881	-	-	0.033	0.998	-0.968
Electricity plants	-72.727	-1.417	-5.727	-38.996	-30.315	-15.195	-5.156	71.087	-98.445
CHP plants	-29.624	-0.000	-0.575	-13.993	-0.146	-	-3.364	26.012	-21.690

Variations de la consommation

Statistical diff.	-1.850	0.839	-0.107	-0.881	-	-	0.033	0.998	-0.968
Electricity plants	-72.727	-1.417	-5.727	-38.996	-30.315	-15.195	-5.156	71.087	-98.445
CHP plants	-29.624	-0.000	-0.575	-13.993	-0.146	-	-3.364	26.012	-21.690
Heat plants	-1.042	-0.022	-0.359	-2.552	-	-	-0.540	4.087	-0.428
Blast furnaces	-7.902	-	-0.006	-0.001	-	-	-0.002	-	-7.912
Gas works	-0.706	-	-0.120	0.254	-	-	-0.040	-	-0.612
Coke ovens ⁴	-4.138	-	-0.086	-0.001	-	-	-0.005	-	-4.230
Oil refineries	-	-182.111	178.099	-	-	-	-	-	-4.012
Petchem. plants	-	1.501	-1.493	-	-	-	-	-	0.009
Liquefaction plants	-0.953	0.892	-	-0.730	-	-	-	-	-0.791
Other transf.	-0.012	0.562	-0.025	-0.999	-	-	-3.637	-0.024	-4.135
Energy ind. own use	-3.433	-0.357	-8.949	-13.438	-	-	-0.680	-10.182	-37.039
Losses	-0.099	-0.317	-0.008	-1.041	-	-	-0.008	-8.082	-9.554
TFC	39.786	0.599	168.375	68.405	-	-	43.415	97.392	417.973
Industry	32.571	0.065	12.208	25.700	-	-	9.895	40.540	120.979
Transport ⁵	0.040	0.000	110.471	4.963	-	-	3.987	1.510	120.972
Other	5.101	0.001	17.752	29.591	-	-	29.533	55.342	137.319
Non-energy use	2.074	0.533	27.945	8.152	-	-	-	-	38.703

**En 2019, 40,4 % de 418 EJ
soit 168.872 EJ
(0.599 + 168.375)**

1. In this table, peat and oil shale are aggregated with coal.
 2. Data for biofuels and waste final consumption have been estimated for a number of countries.
 3. Includes geothermal, solar, wind, heat and electricity.
 4. Also includes patent fuel, BKB and peat briquette plants.
 5. Includes international aviation and international marine bunkers.
- Source: [IEA, World Energy Balances, 2021](#).

Variations de la consommation

- Qui dit vrai?

TPES : Valeurs très voisines

- l'IEA* indique dans ses stats la TFC (consommation finale)

- TPES = $190,851 - 3,486 = 187 \text{ EJ}$ et TFC = 169 EJ

- BP indique la consommation et la production totale, non finale

- TPES = 187 EJ Mt et TEC = 192 EJ

- Pour calculer des durées des réserves, il faut diviser ces réserves par le TPES net et non par la TFC

Valeurs très différentes

*Includes crude oil, shale oil, oil sands and NGLs (natural gas liquids – the liquid content of natural gas where this is recovered separately). Excludes liquid fuels from other sources such as biomass and derivatives of coal and natural gas.

Source: IEA Key Stats 2021 et BP Stats 2021

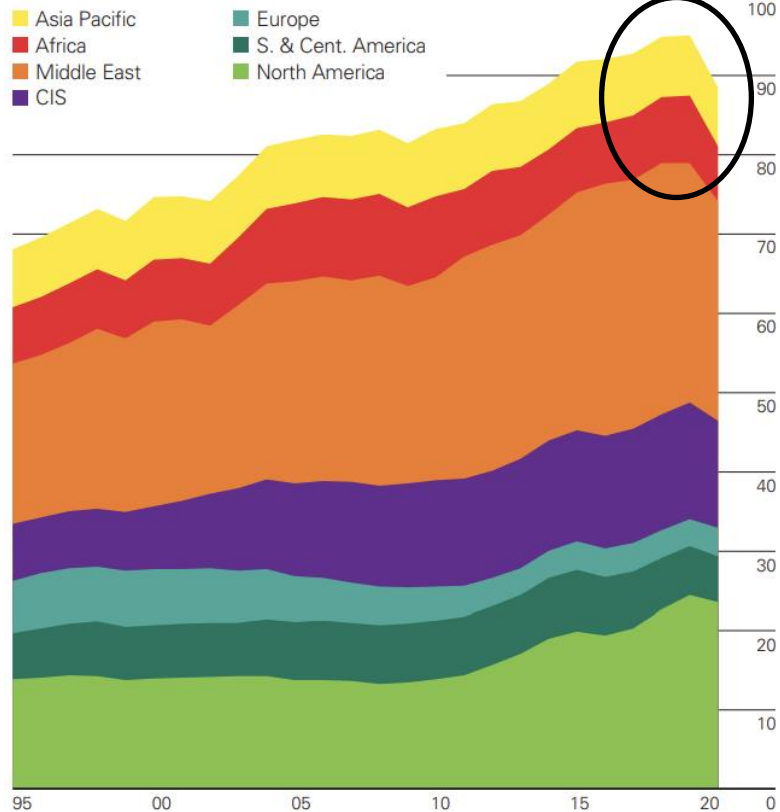
Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- Variations de la consommation
- ***Variations de la production***
- Variations des réserves
- Les prix
- L'ultime territoire
- L'aube de l'ère post-pétrole

Variations de la production : production vs consommation

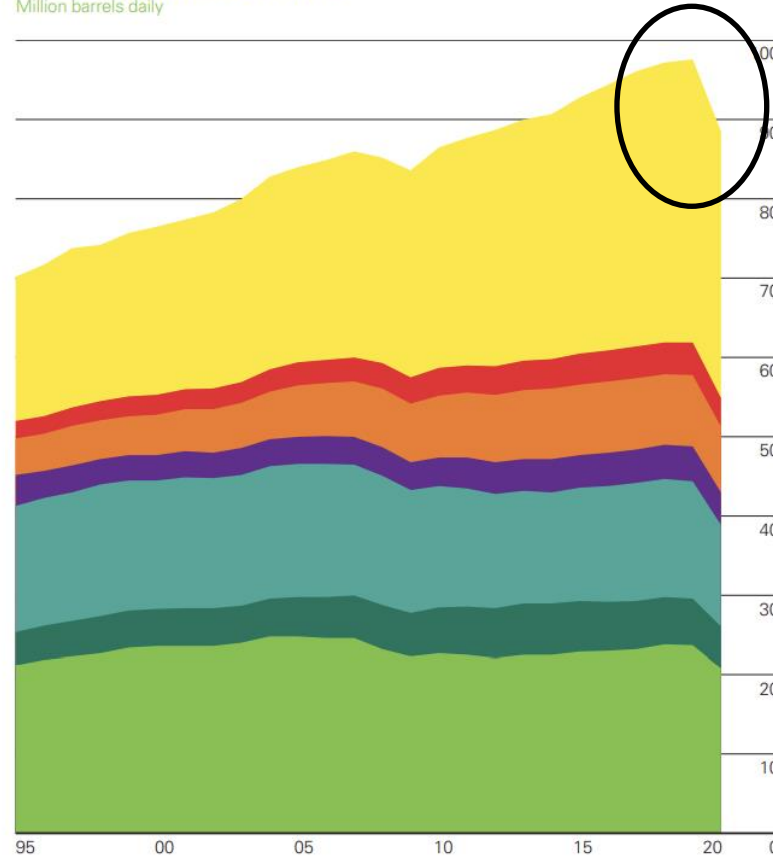
Oil: Production by region

Million barrels daily



Oil: Consumption by region

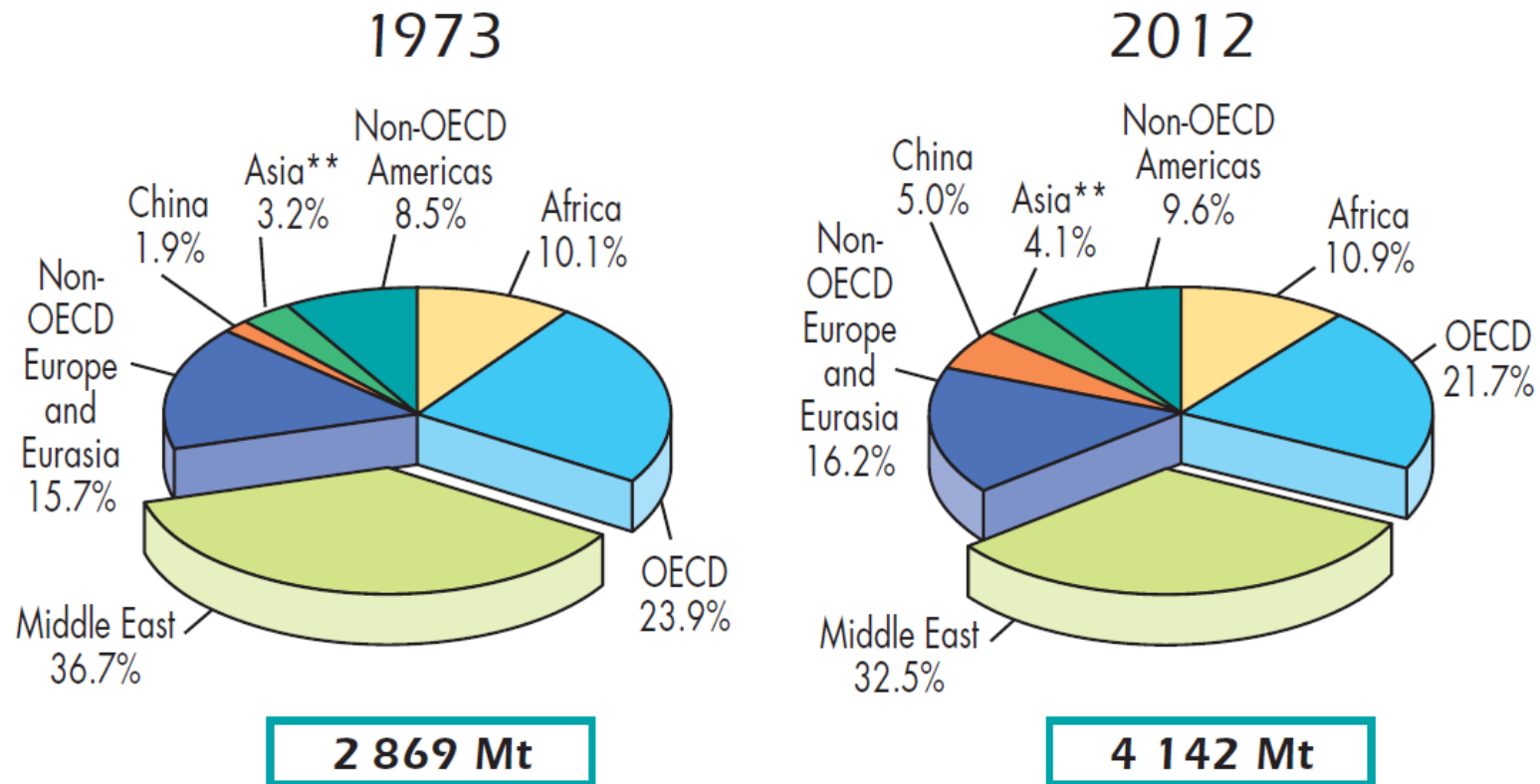
Million barrels daily



- Les producteurs ne sont pas nécessairement les consommateurs
- Effet de la COVID-19 : diminution de la production et de la consommation pour l'année 2020

World oil production fell for the first time since 2009 by 6.6 million b/d in 2020 driven by both OPEC (-4.3 million b/d) and non-OPEC (-2.3 million b/d). Country wise, Russia (-1 million b/d), Libya (-920,000 b/d) and Saudi Arabia (-790,000 b/d). Production only increased in a few countries, mainly Norway (260,000 b/d) and Brazil (150,000 b/d). Oil consumption also dropped for the first time since 2009 by a massive 9.1 million b/d. The decline was in both the OECD (-5.8 million b/d) and the non-OECD (-3.3 million b/d). The US (-2.3 million b/d), the European Union (-1.5 million b/d) and India (-480,000 b/d) reported the largest declines. China was one of the few countries where demand increased in 2020 (220,000 b/d).

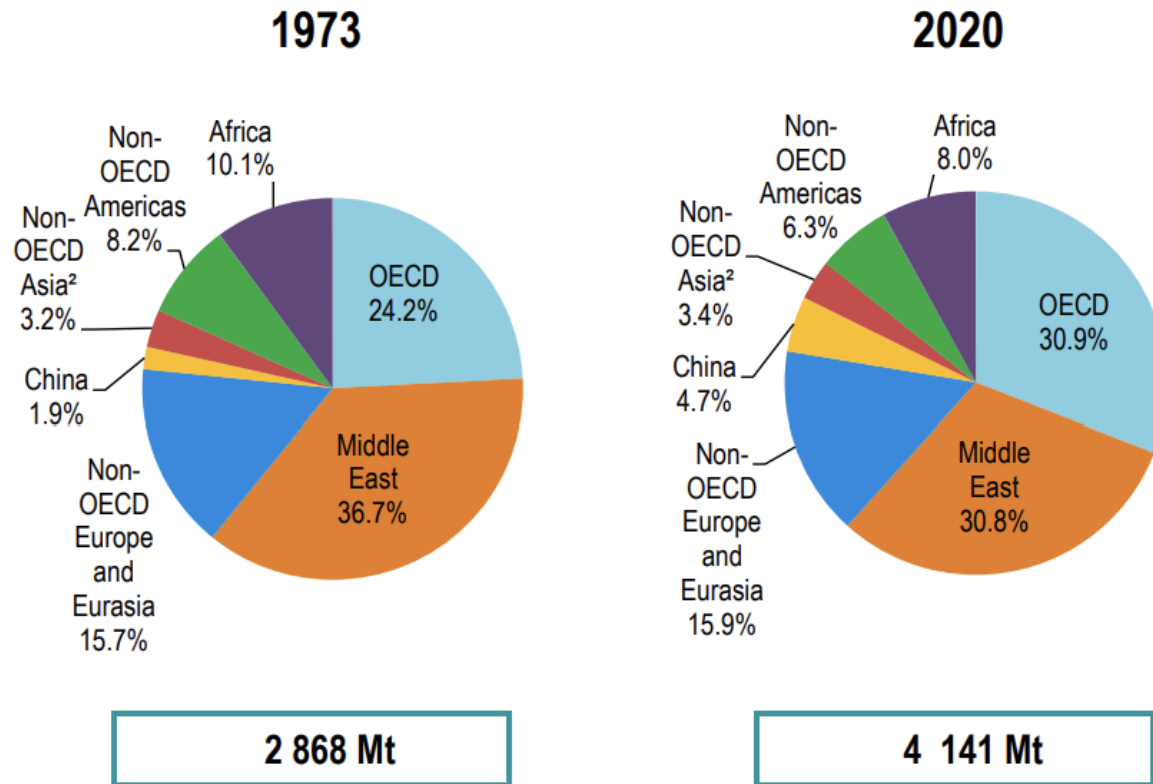
Variations de la production



Source: 2013IEA Key Stats.pdf. Note: la production était de 3940 Mt en 2008

Variations de la production

Share of world crude oil¹ production by region, 1973 and 2020



1. Includes crude oil, NGL, feedstocks, additives and other hydrocarbons.

2. Non-OECD Asia excludes China.

Sources: [IEA, World Energy Statistics, 2021](#).

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- Variations de la consommation
- Variations de la production
- ***Variations des réserves***
- Les prix
- L'ultime territoire
- L'aube de l'ère post-pétrole

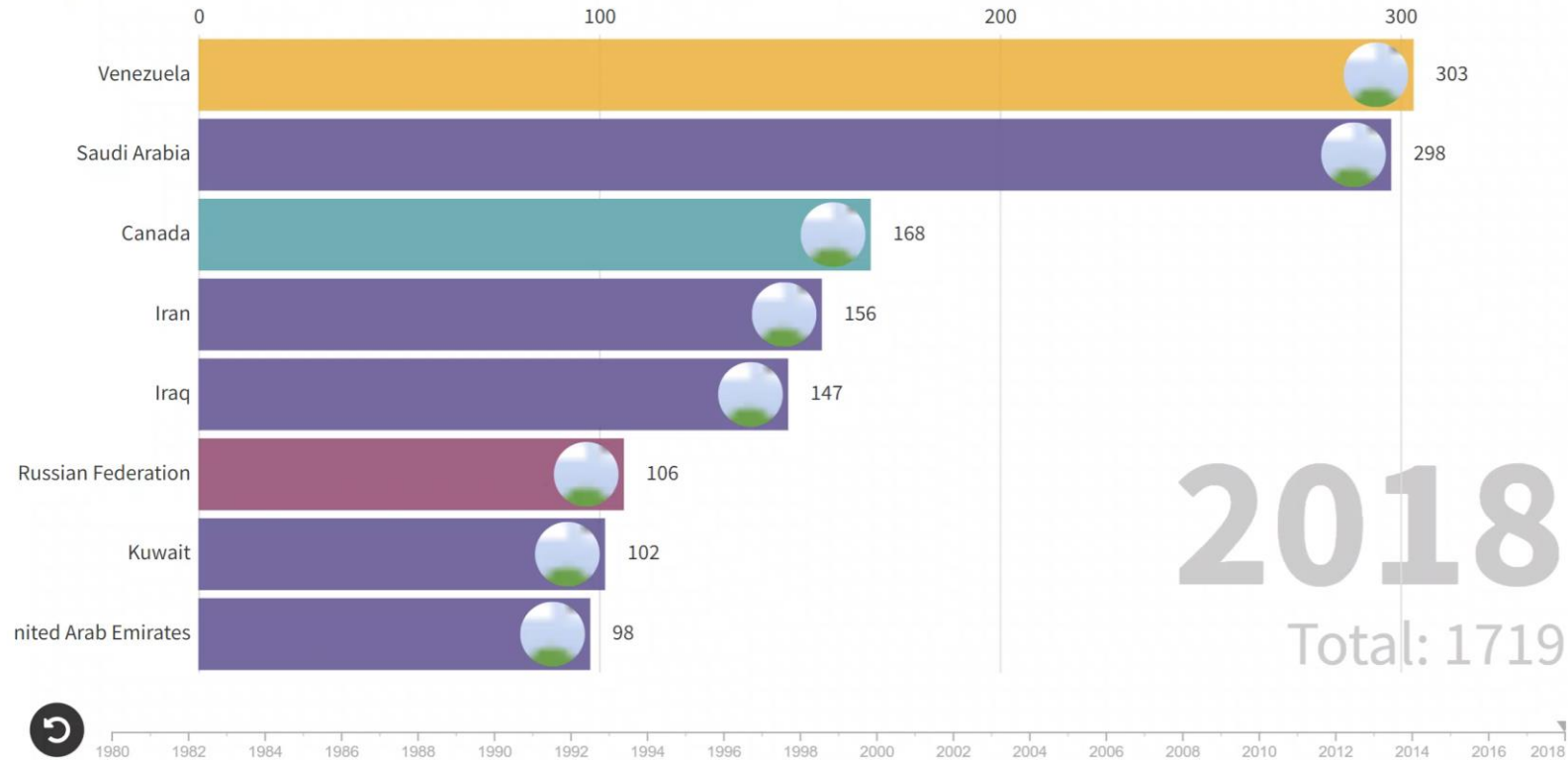
Variations des Réserves

Réserves de pétrole (milliards de barils)

1980 - 2018

Les réserves comprennent les condensats de gaz, les liquides de gaz naturel (LGN) ainsi que le pétrole brut.

● Afrique ● Amérique du Sud et centrale ● Asie Pacifique ● CEI ● Amérique du Nord ● Europe ● Moyen Orient



Source: [BP stats review 2019](#)

<https://public.flourish.studio/visualisation/1844256/>

Variations des réserves : Exercice, encore !

- Le gisement de pétrole supposé sous l'île d'Anticosti, très médiatisé en 2013 tiendrait combien d'années si on suppose que:
 - Toute la consommation mondiale 2013 est assouvie par ce seul gisement;
 - Tout le pétrole découvert s'avère récupérable (100%)

<http://www.ledevoir.com/environnement/actualites-sur-l-environnement/326468/l-ile-d-anticosti-pourrait-renfermer-30-milliards-de-barils-de-petrole>

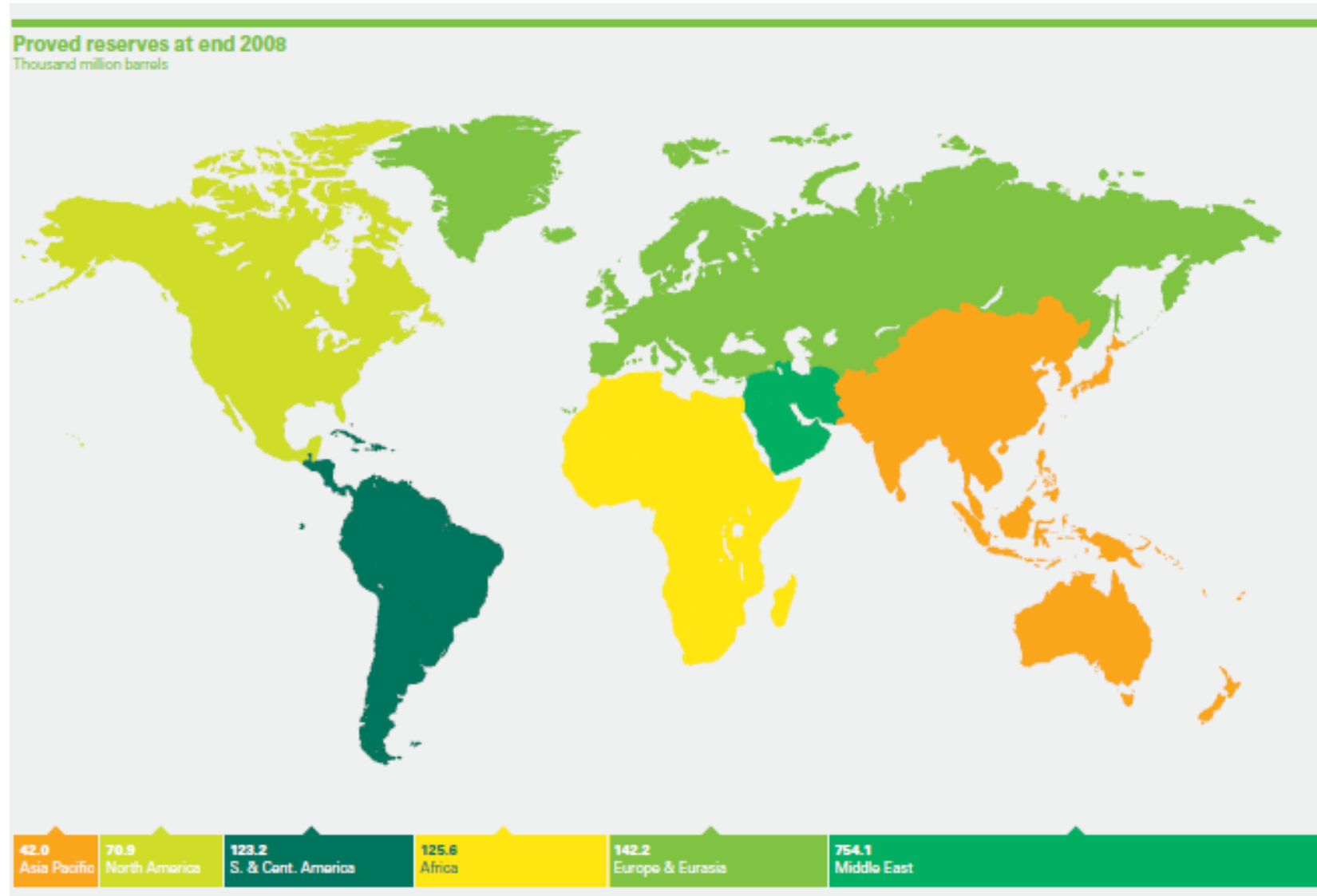


ENR2020

Variations des réserves : Anticosti, encore!

- Information et propagande sur le pétrole du Québec
 - Le **pétrole** : De l'exploration à la production
 - <https://www.youtube.com/watch?v=HQaKXJpwD0Y>
 - Pétrolia, évidemment favorable à une exploration
 - Et vous, pensez-vous que l'on devrait exploiter le pétrole québécois?
 - Je laisse cette question à votre réflexion!

Variations des réserves :

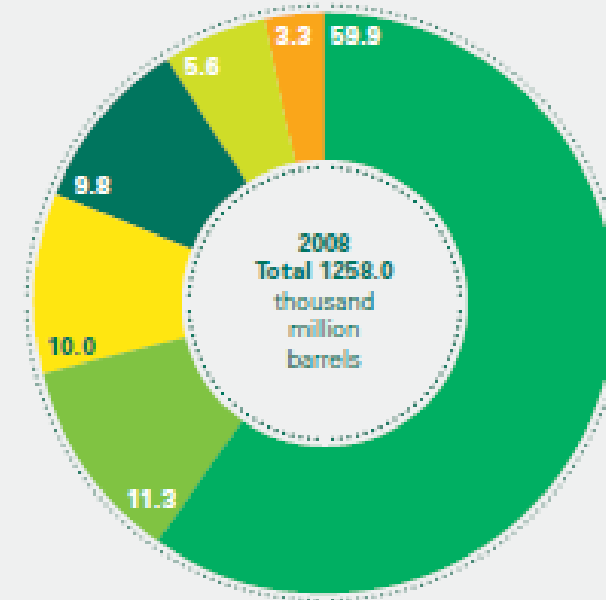
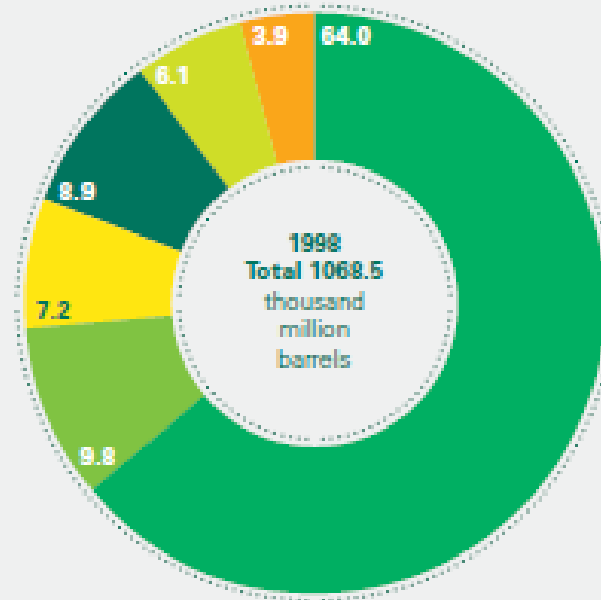
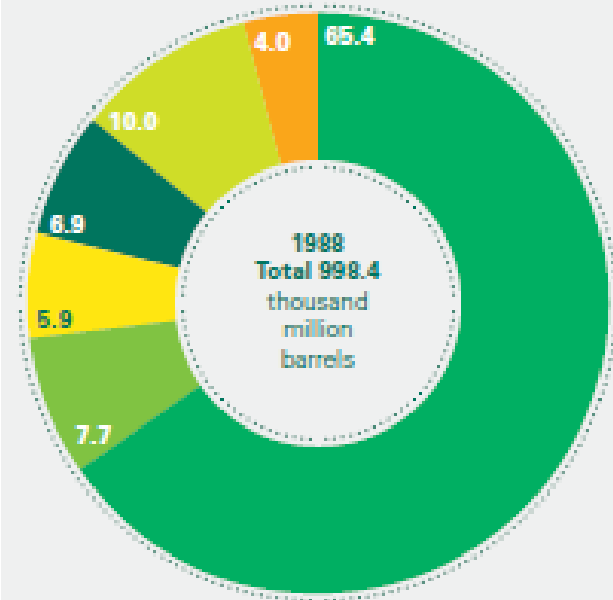


Variations des réserves

Distribution of proved reserves in 1988, 1998 and 2008

Percentage

- Middle East
- Europe & Eurasia
- Africa
- S. & Cent. America
- North America
- Asia Pacific

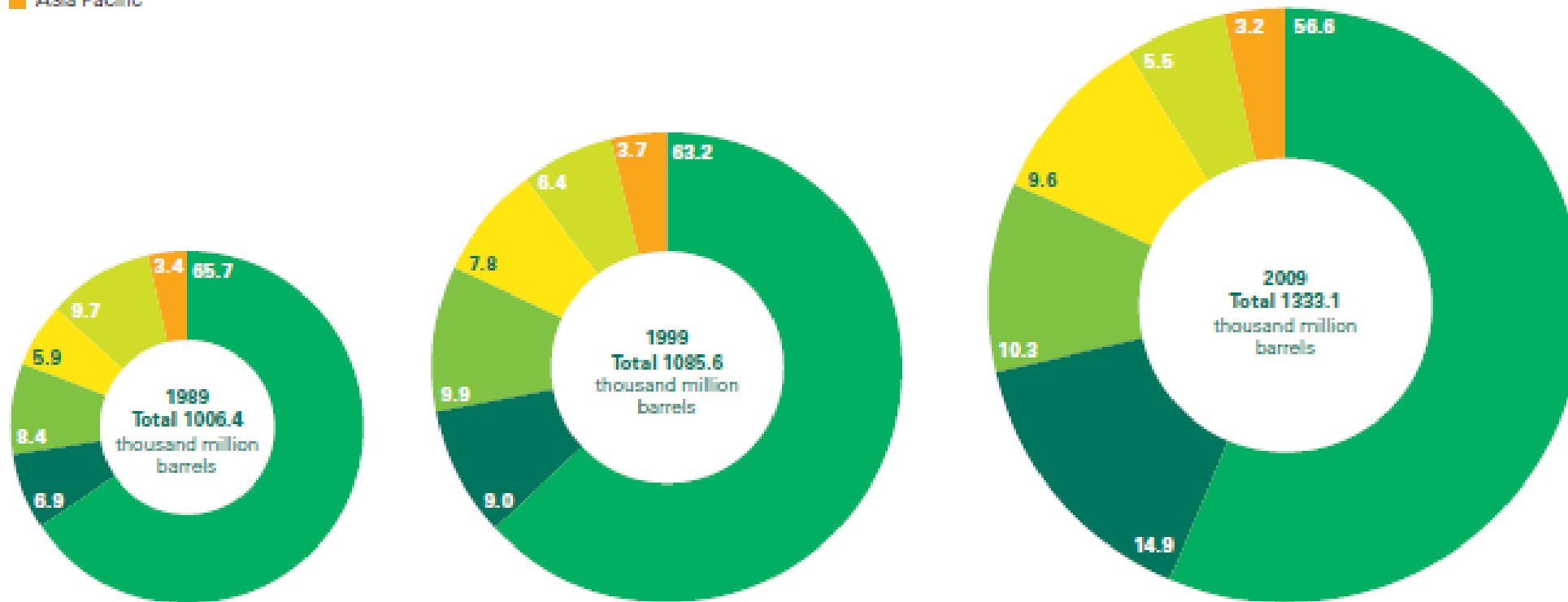


Variations des réserves

Distribution of proved reserves in 1989, 1999 and 2009

Percentage

- Middle East
- S. & Cent. America
- Europe & Eurasia
- Africa
- North America
- Asia Pacific

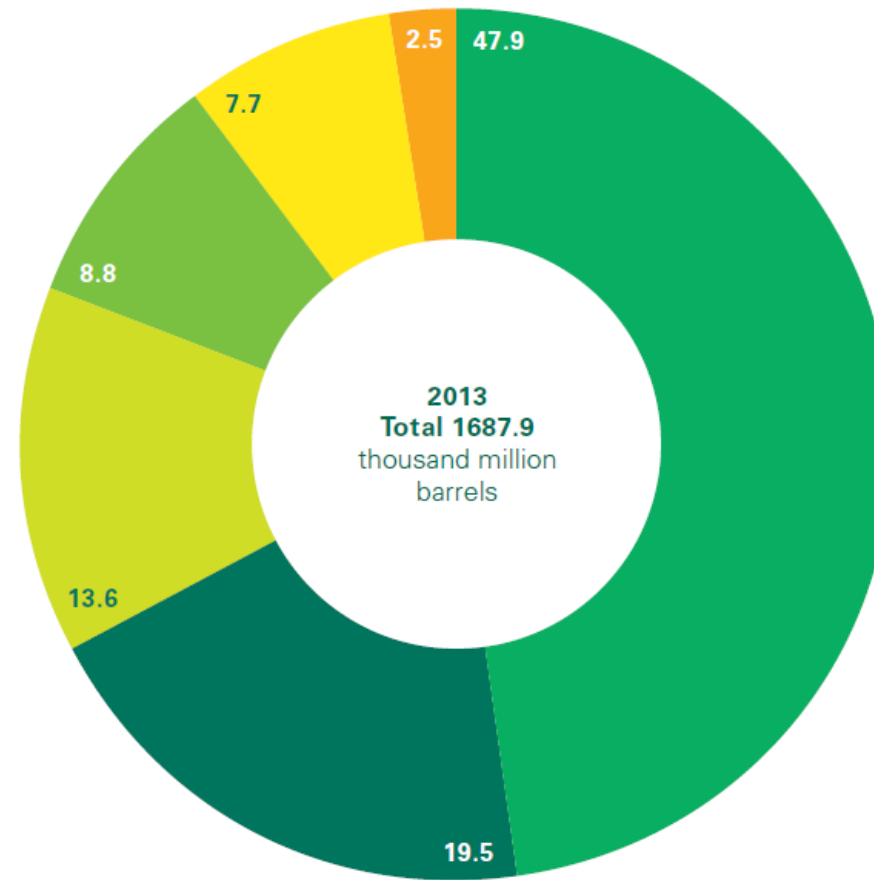
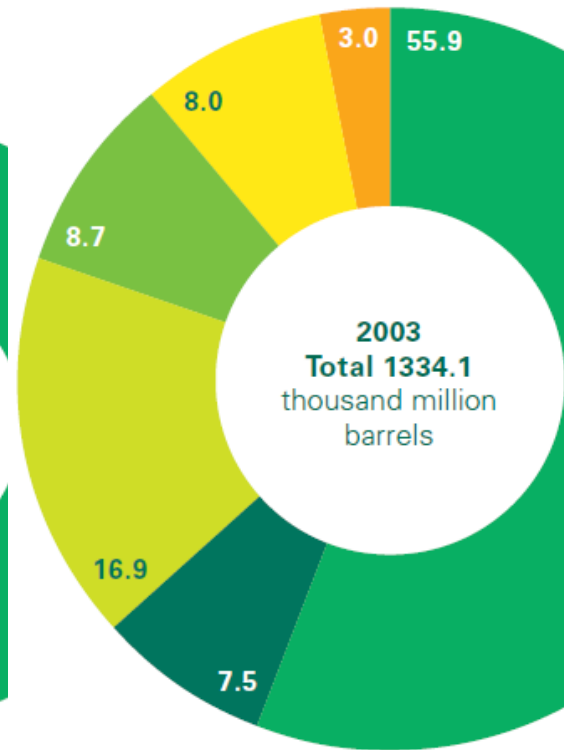
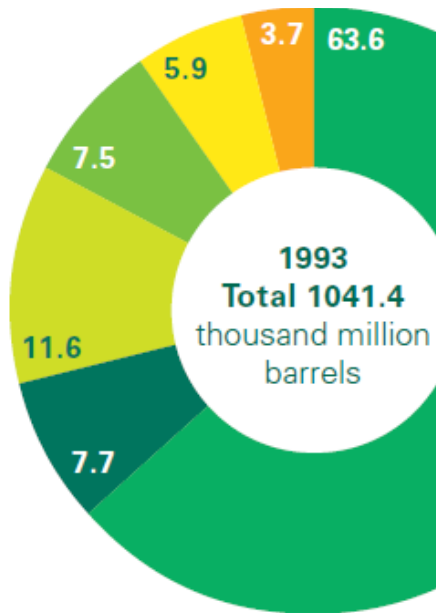


Variations des réserves

Distribution of proved reserves in 1993, 2003 and 2013

Percentage

- Middle East
- S. & Cent. America
- North America
- Europe & Eurasia
- Africa
- Asia Pacific

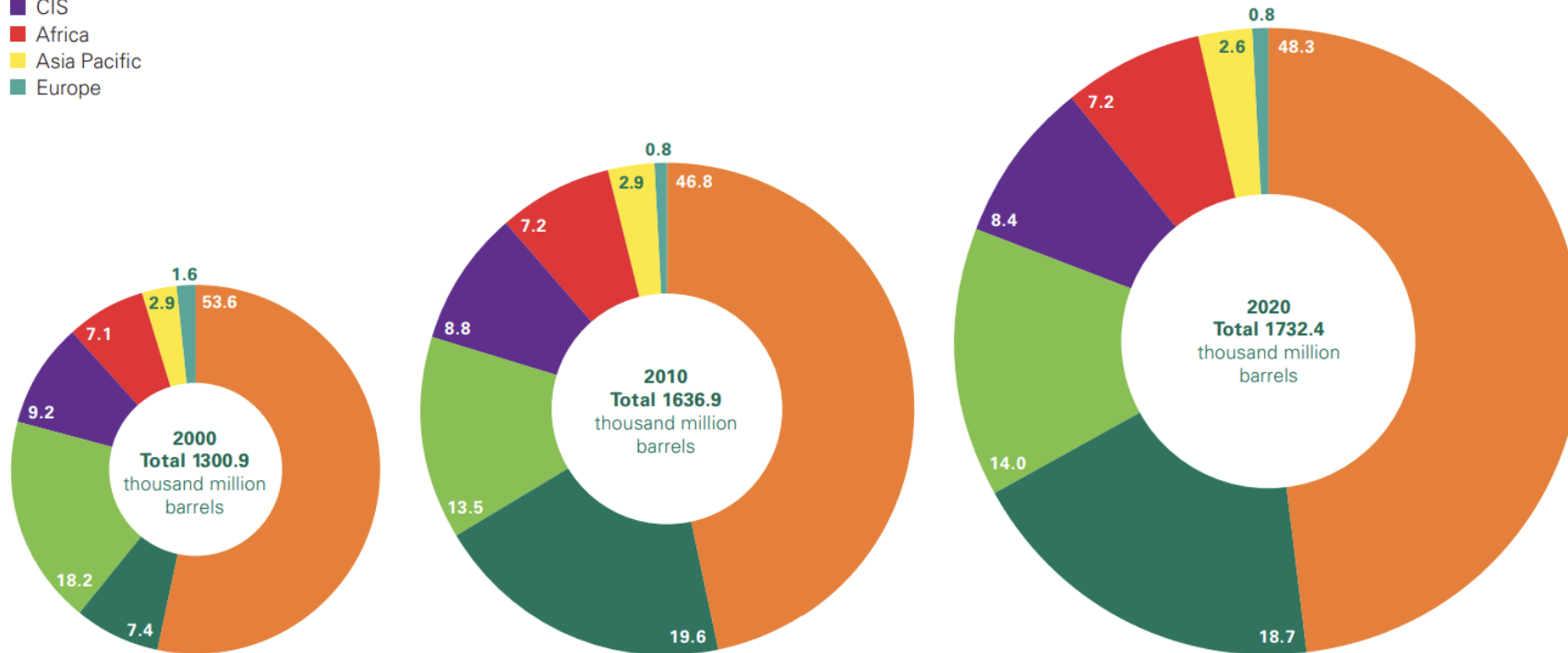


Variations des réserves :

Distribution of proved reserves in 2000, 2010 and 2020

Percentage

- Middle East
- S. & Cent. America
- North America
- CIS
- Africa
- Asia Pacific
- Europe



bp Statistical Review of World Energy 2021

17

Variations des réserves

- Évolution des réserves de pétrole [BP]
 - Pourquoi ça augmente ? Des idées ?
 - Revenons à la définition:
 - la **réserve** est la fraction de la ressource qui est exploitable par l'homme techniquement et économiquement à l'instant où l'on donne le chiffre

Variations de la consommation



ENR2020

Exercice :

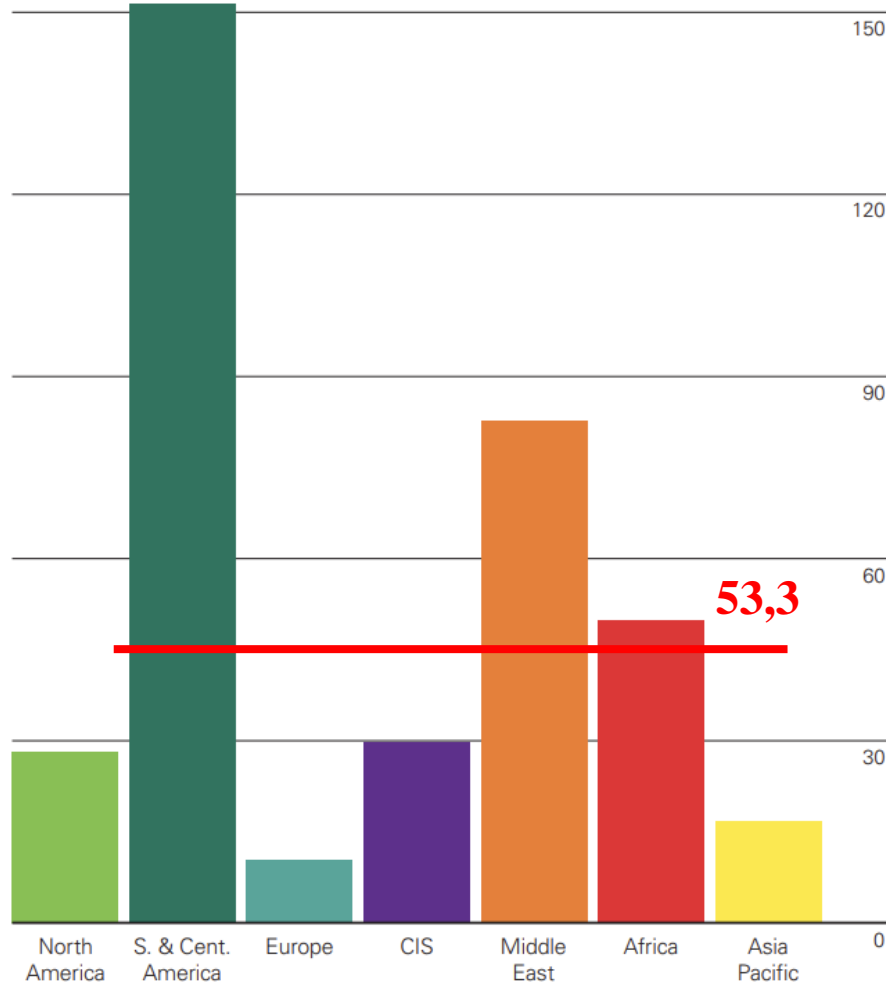
- À l'aide des références suggérées en classe, fournissez un estimé du nombre d'années de réserves mondiales de pétrole en assumant que :
 - La consommation mondiale (année de votre choix) sera constante sur toute cette période;
 - Tout le pétrole découvert (proven reserve) s'avère récupérable (100%).

Variations des réserves

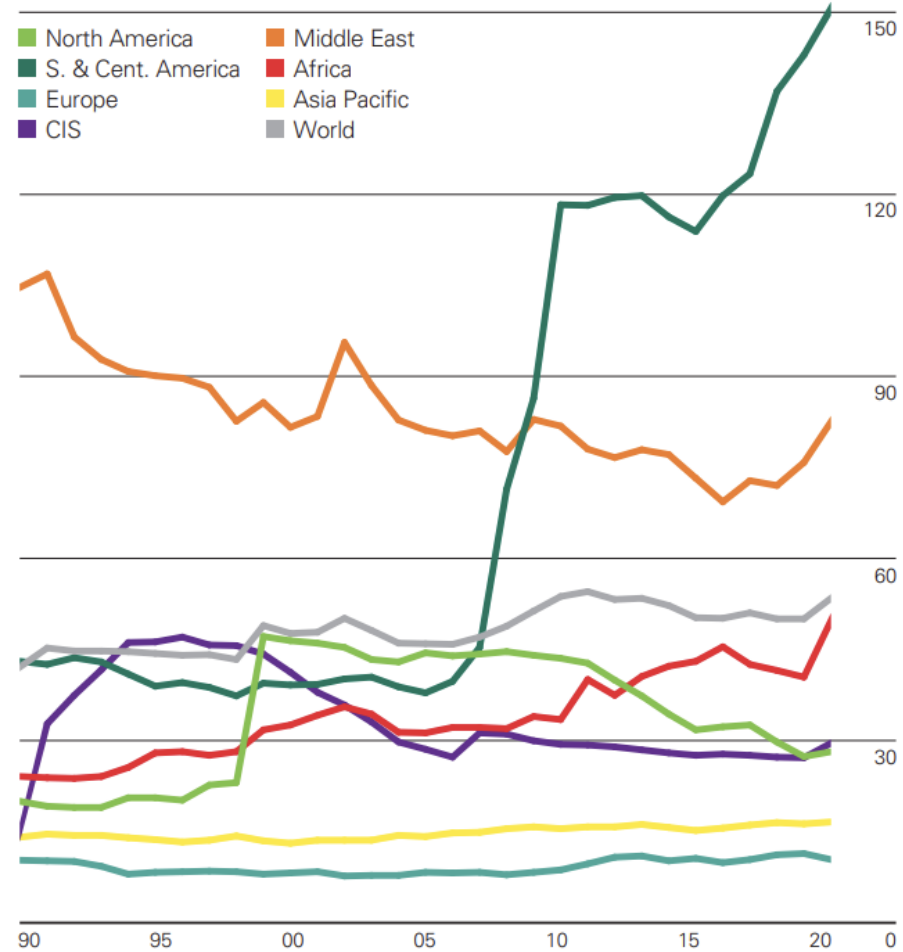
Reserves-to-production (R/P) ratios

Years

2020 by region



History



Question

- Selon BP, de combien étaient les réserves mondiales de pétrole en 2018 ? (à 20 milliards de barils près)?
 - A. 1 730 milliards de barils
 - B. 2 040 milliards de barils
 - C. 2 300 milliards de barils
 - D. 3 840 milliards de barils
 - E. 5 930 milliards de barils



ENR2020

Variations des réserves

- Où se situe le Canada ?

CLASSEMENT DES ÉTATS DU MONDE PAR RÉSERVES PROUVÉES DE PÉTROLE (EN MILLIARDS DE BARILS)							
Source : "Oil - Total proved reserves", BP Statistical Review of World Energy.							
RANG	ÉTAT OU TERRITOIRE	RÉSERVES DE PÉTROLE (Gbbbl)					% TOTAL MONDIAL (2018)
		1980	1990	2000	2010	2018	
1	Venezuela	19,53	60,05	76,85	296,50	303,29	17,5
2	Arabie saoudite	168,03	260,34	262,77	264,52	297,67	17,2
3	Canada	39,53	40,29	181,50	174,85	167,82	9,7
4	Iran	58,30	92,85	99,53	151,17	155,60	9,0
5	Iraq	30,00	100,00	112,50	115,00	147,22	8,5
6	Russie	-	-	112,11	105,80	106,22	6,1
7	Koweït	67,93	97,03	96,50	101,50	101,50	5,9
8	Émirats arabes unis	30,41	98,10	97,80	97,80	97,80	5,7
9	États-Unis	36,53	33,84	30,39	34,99	61,23	3,5
10	Libye	20,33	22,80	36,00	47,10	48,36	2,8
11	Nigeria	16,70	17,10	29,00	37,20	37,45	2,2
12	Kazakhstan	-	-	5,40	30,00	30,00	1,7
13	Chine	13,35	16,02	15,19	23,27	25,95	1,5
14	Qatar	3,59	2,99	16,87	24,68	25,24	1,5

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- Variations de la consommation
- Variations de la production
- Variations des réserves
- ***Les prix***
- Le Moyen-Orient
- L'ultime territoire
- L'aube ère post-pétrole

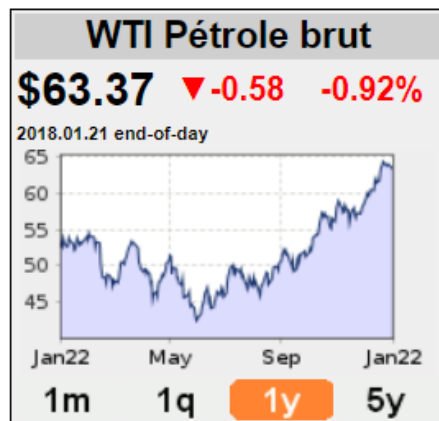
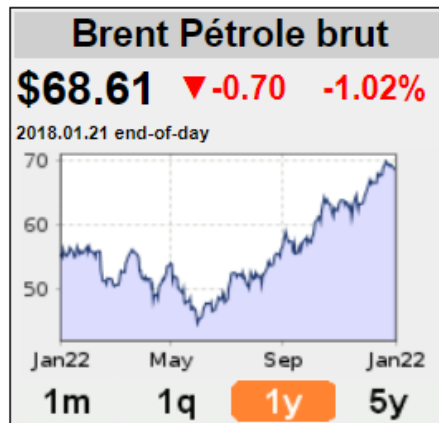
Les prix

- Le prix du baril
 - Le **WTI** : West Texas Intermediate
 - C'est la référence en **Amérique du Nord**
 - Le **Brent** : acronyme de différents gisements pétroliers de la **mer du Nord** (Broom, Rannock, Etive, Ness et Tarbert)
 - Permet de fixer les prix de plus de 2/3 des pétroles négociés

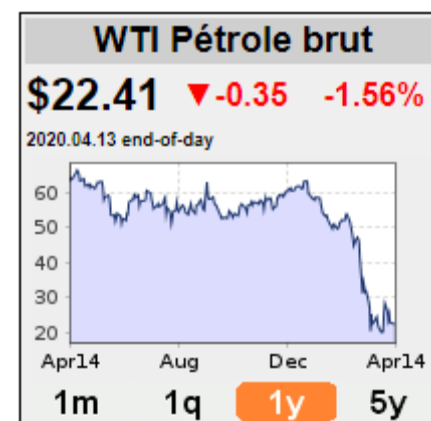
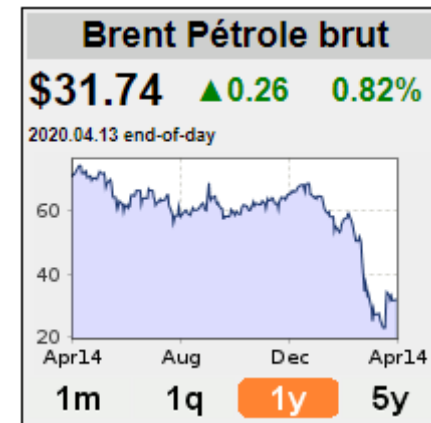
Les prix

- Prix du WTI et du Brent en 2017 et 2020

2017



2020



Covid oblige...

http://oil-price.net/dashboard.php?lang=fr#brent_crude_price_large

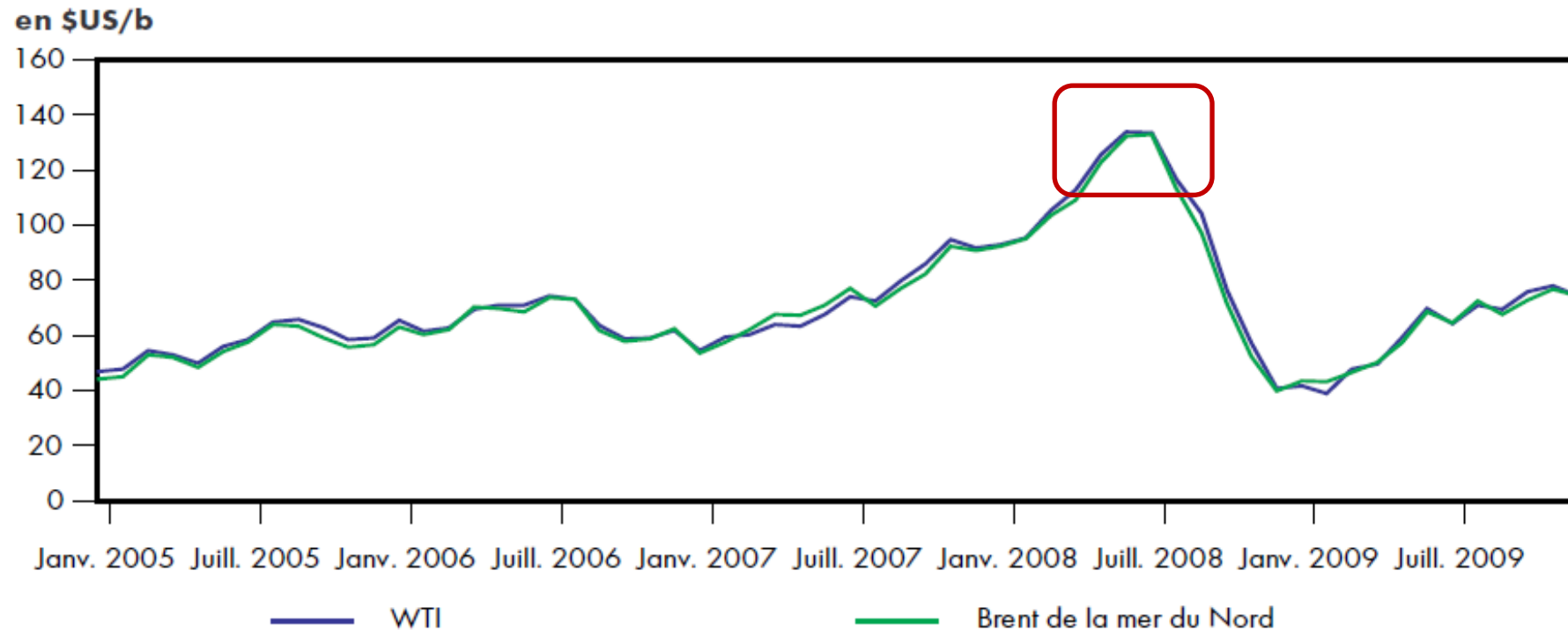
Les prix : Exercice

- Fournissez un estimé du nombre d'années de réserves de pétrole contenues dans les sables bitumineux canadiens en assumant que :
 - La consommation mondiale (utilisez par exemple les stats de BP de 2009 pour 2008 qui présentaient des données séparées pour les sables bitumineux) sera constante sur toute cette période;
 - Toute la consommation mondiale est assouvie par ce seul gisement
 - Tout ce pétrole s'avère récupérable (100%).

Les prix

- Évolution du prix du baril de pétrole [IEA]

Prix du pétrole WTI et du pétrole de la mer du Nord, 2005-2009



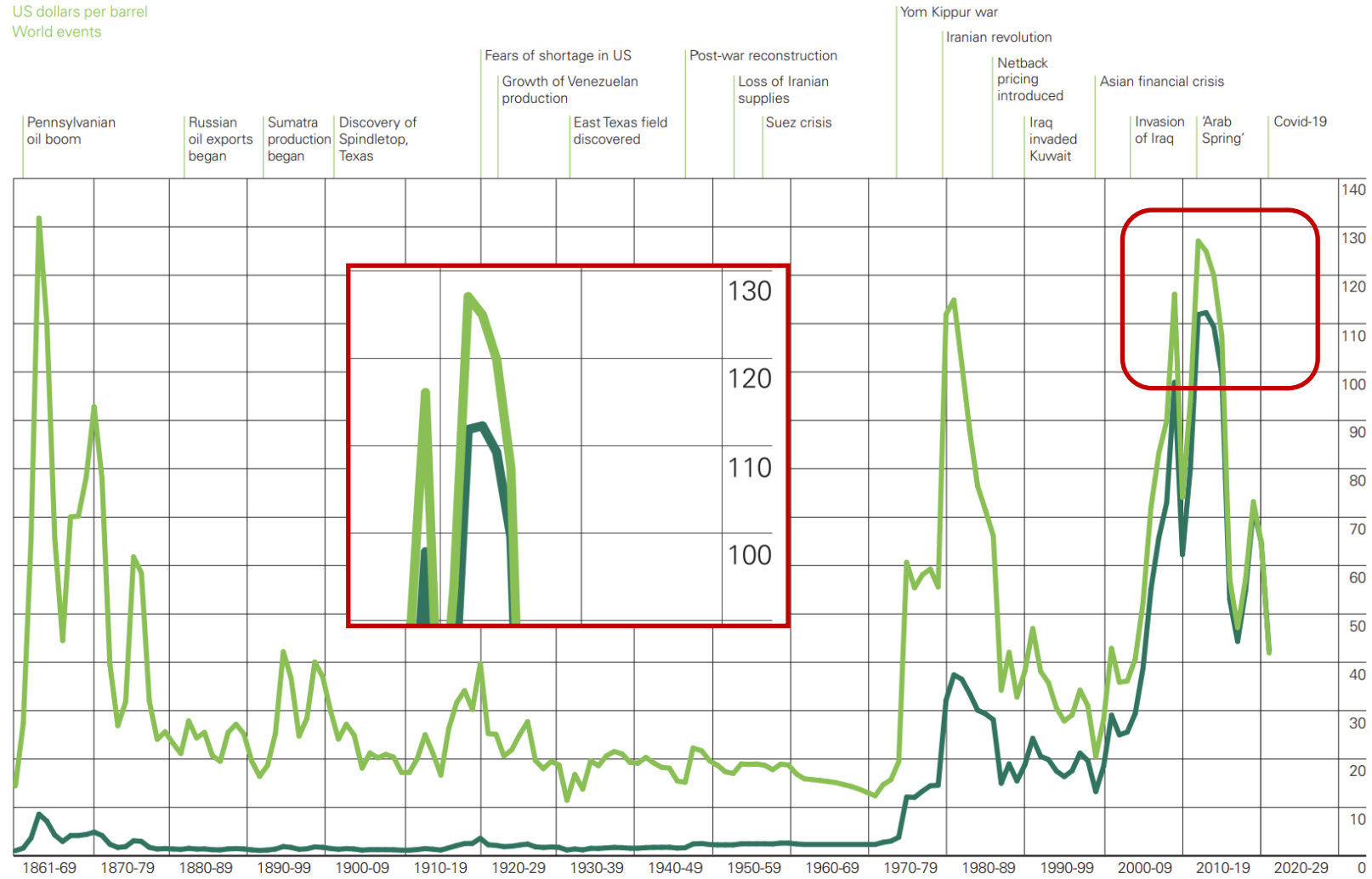
<http://www.liveoilprices.co.uk/>

Les prix

Crude oil prices 1861-2020

US dollars per barrel

World events



■ \$ 2020 (deflated using the Consumer Price Index for the US)

■ \$ money of the day

1861-1944 US average.

1945-1983 Arabian Light posted at Ras Tanura.

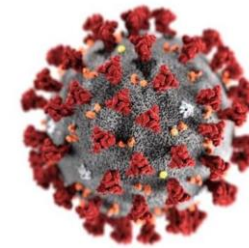
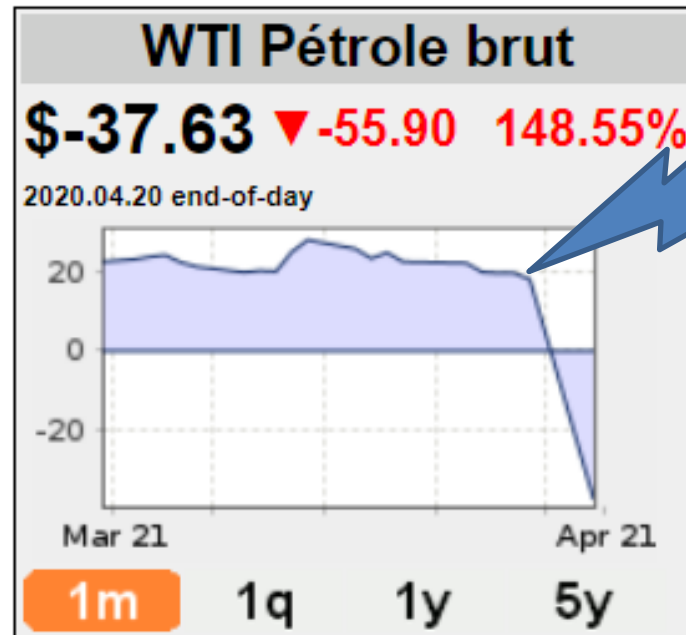
1984-2020 Brent dated.

Les prix

- Oui. Le 21 avril 2020 un baril livrable en mai au WTI valait **-37,63\$US**.
 - Qui peut m'expliquer pourquoi?

Notez le décalage entre le début de la pandémie et la chute.

Les marchés ont tardé à ajuster la production.



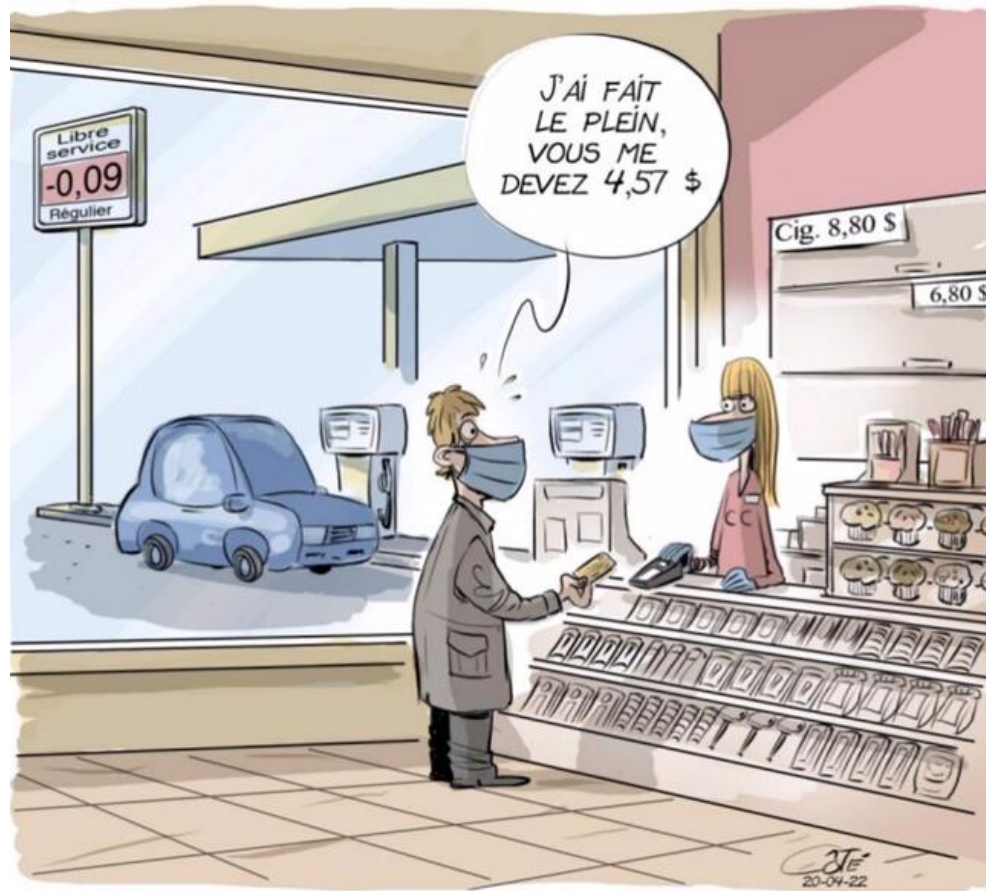
Les prix

- Lorsque les réservoirs sont pleins, les bateaux sont pleins, les trains sont pleins, et que la production excède la demande.
 - Les plus importantes installations de stockage du continent nord-américain sont à Cushing, en Oklahoma
 - la capacité d'entreposage de Cushing est de 76 millions de barils, et il y avait 55 millions de barils de stockés le 21 avril 2020.



Les prix

- Est-ce que ceci peut arriver?



Non, il y a 0,40\$/L de taxe à laquelle on ajoute TPS et TVQ. Et des frais de raffinage, de transport, d'entreposage.

Je dirais qu'un prix « cost » ou plancher serait autour de 0,60\$/L.

Les prix

COVID-19

La raffinerie de Valero, à Lévis, a vu fondre la demande pour ses produits à une vitesse incroyable. En l'espace d'une semaine, la demande de carburant pour avions a dégringolé de 90 %, la demande d'essence a baissé de 60 % et celle de diesel, de 25 à 30 %.

« On a dû s'ajuster », explique Marina Binotto, porte-parole de l'entreprise qui fournit 70 % de l'approvisionnement du Québec en produits pétroliers. Même si la production est réduite, la totalité de l'effectif, soit quelque 470 personnes, est en poste à la raffinerie qui fonctionne 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, les raffineries comme celle de Lévis ne profitent pas de la baisse actuelle du prix du brut, comme celle qui a entraîné le WTI en territoire négatif lundi. D'une part, les raffineries achètent leur matière première des mois à l'avance et, d'autre part, leur capacité de stockage est limitée, pour le brut comme pour les produits raffinés. La faiblesse de la demande entraîne aussi un rétrécissement des marges de raffinage.

La raffinerie de Lévis avait rempli ses réservoirs pour se préparer à un arrêt planifié de ses activités qui aurait duré 54 jours. La crise du coronavirus a forcé l'entreprise à remettre à l'an prochain ces travaux estimés à 130 millions.

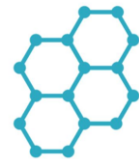


La raffinerie de Valero, à Lévis

PHOTO EDOUARD PLANTE-FRÉCHETTE, ARCHIVES LA PRESSE

Exercice

- Combien d'années tiendrait le gisement de pétrole découvert par Petrobras en 2007 (Tupi, baie de Santos) si on suppose que:
 - Toute la consommation mondiale est assouvie par ce seul gisement;
 - Tout le pétrole découvert s'avère récupérable (100%)



ENR2020

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- Variations de la consommation
- Variations de la production
- Variations des réserves
- Les prix
- ***Le Moyen-Orient***
- L'ultime territoire
- L'aube de l'ère post-pétrole

Le Moyen-Orient



- Russie
- Géorgie
- Azerbaïdjan
- Arménie
- Turquie
- Syrie
- Iraq
- Iran
- Pakistan
- Afghanistan
- Turkménistan
- Ouzbékistan
- Tadjikistan
- Kirghizstan
- Kazakhstan

Le Moyen-Orient




AZERBAIJAN
Increased oil production has reversed the plunge of Azerbaijan's economy and attracted billions in foreign investments.

POPULATION
7.7 million

INCOME PER CAPITA
\$7,550

CRUDE OIL RESERVES
1.18 billion

NATURAL GAS RESERVES
4 trillion



GEORGIA
Georgia's good regional relations and commitment to market reforms make it an appealing route to Western markets for Caspian oil.

POPULATION
5.4 million

INCOME PER CAPITA
\$1,350

CRUDE OIL RESERVES
35 million

NATURAL GAS RESERVES
0.3 trillion




RUSSIA
The world's second greatest energy consumer, Russia controls many of the facilities now moving Caspian oil and gas to market.

POPULATION
146.9 million

INCOME PER CAPITA
\$5,200

CRUDE OIL RESERVES
48.6 billion


NATURAL GAS RESERVES
1,700 trillion



ARMENIA
Armenia has been bypassed as a potential oil transit route because the Nagorno-Karabakh enclave is a contested area.

POPULATION
3.8 million

INCOME PER CAPITA
\$2,800



TURKEY
Gateway to the Black Sea and the Mediterranean, Turkey annually imports more than 200 million barrels of oil for its own use.

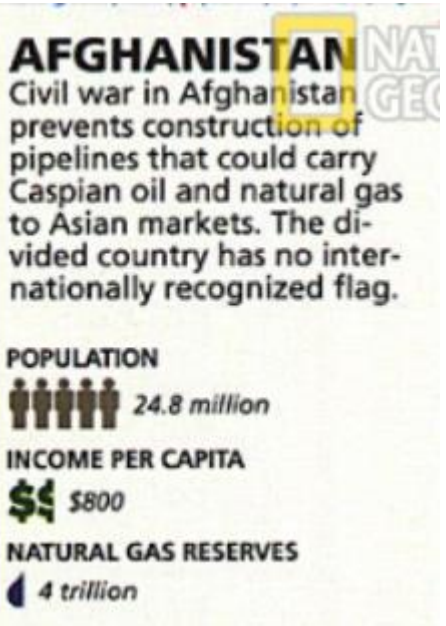
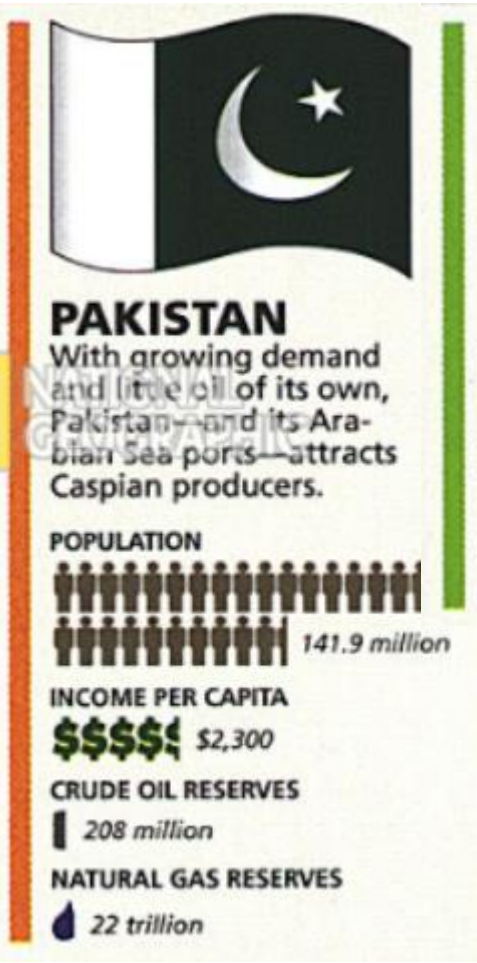
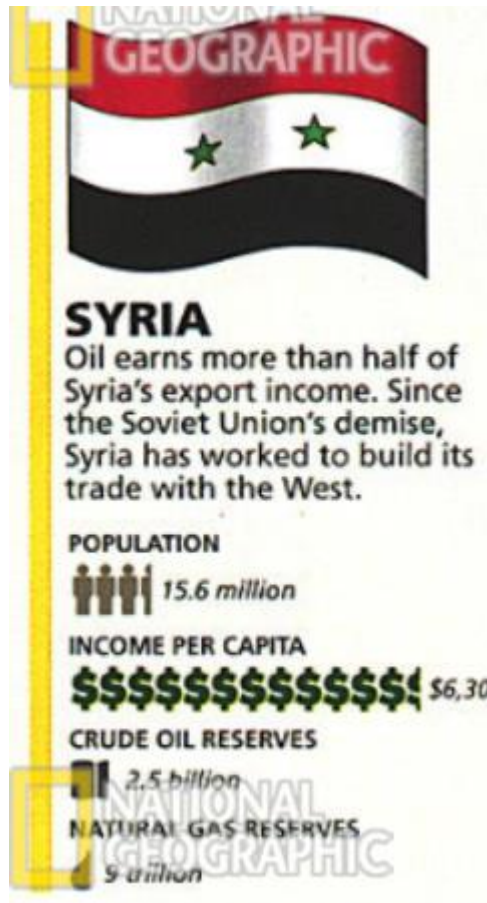
POPULATION
64.8 million

INCOME PER CAPITA
\$6,100

CRUDE OIL RESERVES
317 million

\$ = 500 US\$/an

Le Moyen-Orient



\$ = 500 US\$/an

Le Moyen-Orient



\$ = 500 US\$/an

Le Moyen-Orient

Pays	Population [millions]	Revenus [US\$/cap]	Pétrole [Mbarils]	Gaz [Gm ³]
Russie	146,9	5 200	48 600	➔ 1 700 000
Géorgie	5,4	1 350	35	300
Azerbaïdjan	7,7	1 550	1 180	4 000
Arménie	3,8	2 800	0	0
Turquie	64,8	6 100	317	0
Syrie	15,6	6 300	2 500	9 000
Iraq	21,8	2 000	➔ 112 500	110 000
Iran	64,1	5 200	89 700	812 000

* Sans pétroles bitumineux

Le Moyen-Orient

Pays	Population [millions]	Revenus [US\$/cap/an]	Pétrole [Mbarils]	Gaz [Gm ³]
Pakistan	141,9	2 300	208	22 000
Afghanistan	24,8	800	0	4 000
Turkménistan	4,7	2 840	546	101 000
Ouzbékistan	24,1	2 430	594	66 000
Tadjikistan	6,1	920	12	200
Kirghizstan	4,7	2 880	40	200
Kazakhstan	15,6	2 880	5 400	65 000

\$ = 500 US\$/an

Le Moyen-Orient

- Les hydrocarbures ne garantissent pas un revenu élevé pour les habitants des pays qui en théorie en disposent;
- Un nombre très restreint de citoyens de ces pays profitent de cette manne;
- Plusieurs des pays qui disposent de ressources subissent les pressions des consommateurs.

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- Variations de la consommation
- Variations de la production
- Variations des réserves
- Les prix
- Le Moyen-Orient
- ***L'ultime territoire***
- L'aube ère post-pétrole

L'ultime territoire

Harsh Frontier

Although the Arctic has huge energy and mineral resources, extracting them is arduous. A decade ago, with sea ice melting and commodity prices high, there was a surge in investment. Now prices are low. Ice is still melting, but conditions in the Arctic remain harsh, and infrastructure is lacking. Russia, with its 25,000-mile Arctic coastline and long history in the region, has the biggest commitments and ambitions.



The Arctic Shortcut

The rise of Asian economies has led to increased demand for shipping between Asia and Europe. But the Northern Sea Route, managed by Russia, can be only a seasonal complement to current shipping lanes, not a replacement.

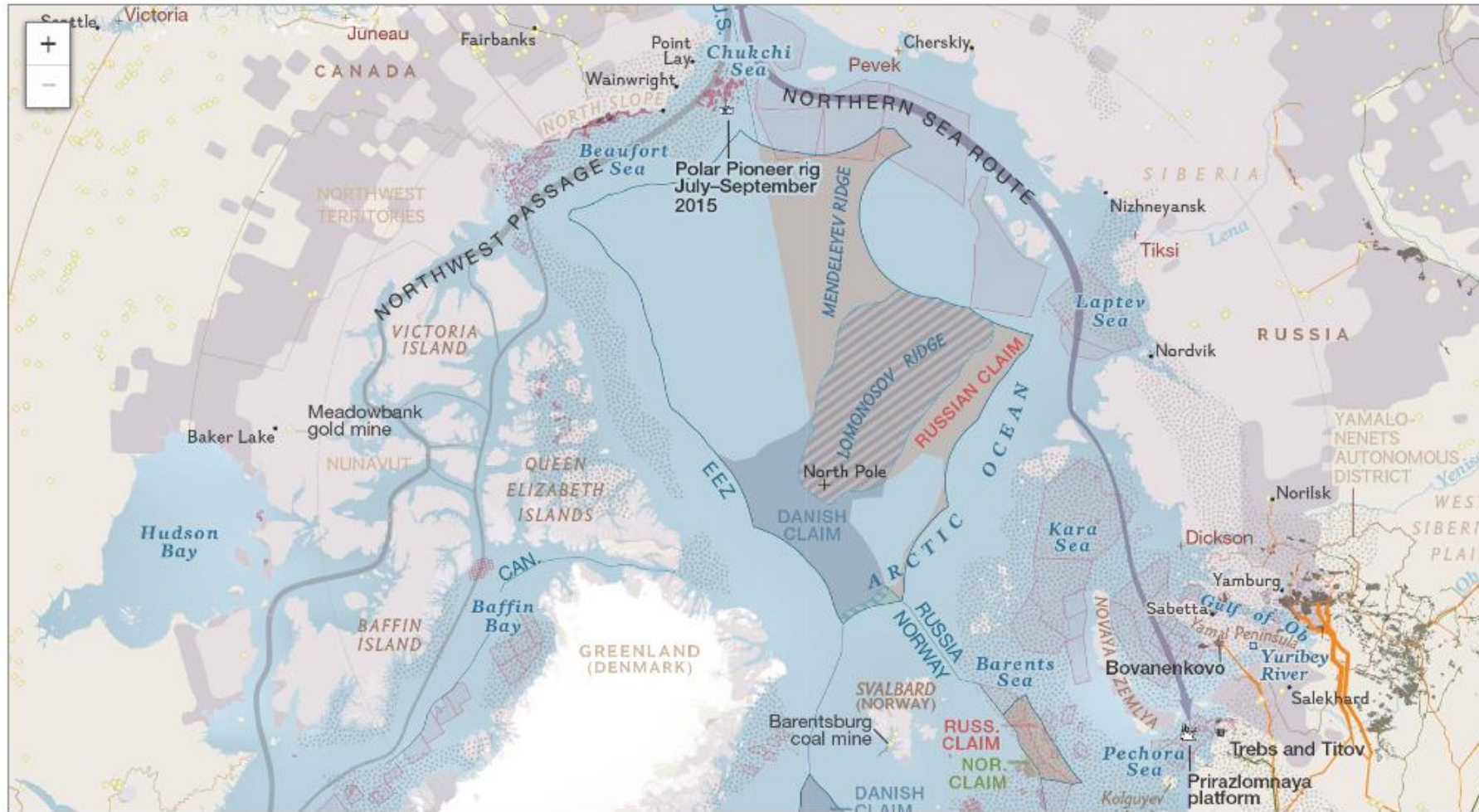
Ship transits, 2013

17,225 via Suez Canal

19 via Northern Sea Route

- <http://www.nationalgeographic.com/magazine/2016/03/new-arctic-thawing-rapidly-circle-work-oil/>

L'ultime territoire








SEA ICE NOT SHOWN

LAUREN E. JAMES AND RYAN WILLIAMS, NGM STAFF. SOURCES: IHS ENERGY; IBRU, DURHAM UNIVERSITY, U.K.; USGS; GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND; NATURAL RESOURCES CANADA; ALBERT BUIXADÉ FARRÉ, INSTITUTE FOR GLOBAL MARITIME STUDIES; INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION; CHARLES KOVEN, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY

L'ultime territoire

Sea





-  Exclusive economic zone boundary 200 nautical miles
-  International maritime boundary
-  Boundary of overlapping claim
-  Shipping lane
-  Lease

Safety

-  Arctic nation Rescue Coordination Center (RCC)

Active Oil and Gas

Norway and Russia now operate offshore platforms. Russia depends on oil and gas revenues and exports; it needs Arctic fields to replace aging ones in western Siberia.

-  Gas pipeline
-  Oil pipeline
-  Field
-  Area with at least a 50 percent chance of having recoverable oil and gas



Mines

The Arctic region is rich in such minerals as phosphate, bauxite, diamonds, iron ore, and gold. Access to some is getting harder as the ice-road season gets shorter.

-  Commodity mine

Permafrost

Permafrost is shrinking; models predict close to a 50 percent decline by 2100.

-  2020 extent
-  2100 extent

L'ultime territoire



L'ultime territoire



The new *Goliat* platform awaits commissioning in a fjord near Hammerfest, Norway, last April. Now moored in the Barents Sea at 71° north, it's the world's northernmost offshore oil platform.

L'ultime territoire



PERMAFROST AND PIPELINES

Most Arctic oil pipelines are designed to use permafrost as a foundation. But that foundation is thawing and sagging as the Arctic warms, making pipelines and other infrastructure vulnerable to buckling and rupturing.

ICE ROADS

Arctic oil operations are heavily dependent on wide ice roads that can support thousand-ton drilling rigs as well as heavy trucks that deliver supplies. The trucking season has decreased by 24 percent since 1969 because of shorter winters.

OFFSHORE OIL PRODUCTION

Prirazlomnaya (Gazprom)

The Arctic's first offshore platform, and the only one operating year-round, began producing oil in late 2013 in the Pechora Sea off Russia. Standing on a man-made island in shallow water, it's able to withstand shifting sea ice.

Goliat (Eni, Statoil)

This platform, the largest in the Arctic, anchored 53 miles off Norway's coast in the Barents Sea, began pumping oil last year. Its round shape blunts the impact of strong winds and waves.

Polar Pioneer (Shell)

In August 2015 Shell drilled in the Chukchi Sea off Alaska but failed to find sufficient quantities of oil. In September it suspended its Arctic program "for the foreseeable future."

OIL SPILLS

The cleanup procedures that are standard in warmer climes—containment booms and chemical dispersants—are challenging to deploy in Arctic waters. Government and industry have done tests but have not yet confronted a major offshore spill.

Scroll the image horizontally to see all

L'ultime territoire

- Quelques vidéos sur le pétrole dans l'Arctique
 - <https://www.youtube.com/watch?v=Z34qz3Q-oMo>
 - AFP, 2012
 - <https://www.youtube.com/watch?v=npYNgXKrw5w>
 - AFP, 2015
 - <https://www.youtube.com/watch?v=JsN1qZk3Tlo>
 - Images de la fuite de pétrole qui s'est produite au printemps 2012 en Russie à proximité de l'arctique (2000 tonnes)
 - <https://www.youtube.com/watch?v=rMYpG0m51F8>
 - WWF, Stop arctic drilling 2016.

L'ultime territoire



In 2010 the Meadowbank gold mine opened in Canada's mineral-rich Nunavut, an immense territory with 37,000 inhabitants. Some 400 of them work at the mine. A dike keeps it from flooding in summer, when the tundra thaws into lakes and bug-infested bogs.

L'ultime territoire

- Le pergélisol (permafrost) de la planète contient l'équivalent de 1600 gigatonnes de carbone, soit le double de ce qui se trouve dans l'atmosphère.

THE HIGH PRICE OF ARCTIC OIL

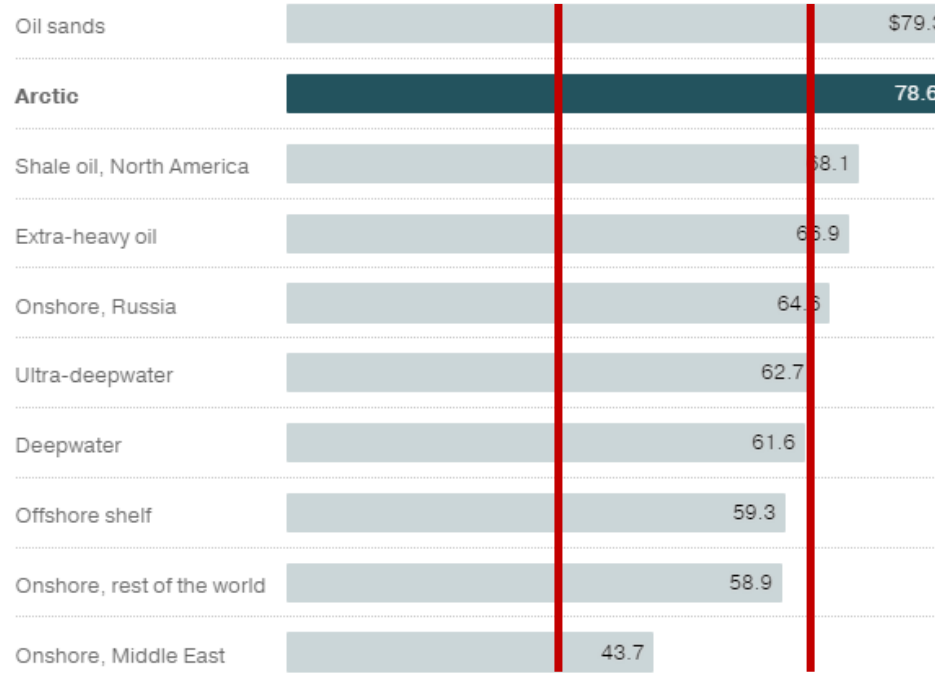
Arctic oil is expensive to produce. Its break-even price—the price required to cover the cost of production—is exceeded only by that of oil sands, such as those in Canada, which require large amounts of energy to separate oil from sand.

Break-even price of known but undeveloped oil reservoirs

Per barrel, October 2015

The price of oil in December 2015 was \$37 per barrel.

63\$, Jan 22nd 2018



36\$, March 9th 2016

JASON TREAT, RYAN WILLIAMS, CHIQUI ESTEBAN, NGM STAFF; AILEEN CLARKE. ART: NICK KALOTERAKIS

SOURCES: RYSTAD ENERGY; GAZPROM; ROYAL DUTCH SHELL; STATOIL; ALASKA DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES; USGS; NATIONAL RESEARCH COUNCIL

Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Le pétrole renouvelable, classique et « sale »
- Variations de la consommation
- Variations de la production
- Variations des réserves
- Les prix
- L'ultime territoire
- ***L'aube de l'ère post-pétrole***

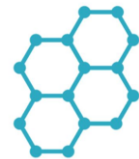
**Sommes-nous finalement
revenus là?**

L'aube de l'ère post-pétrole?

À voir obligatoirement (au moins les 21ères minutes !):

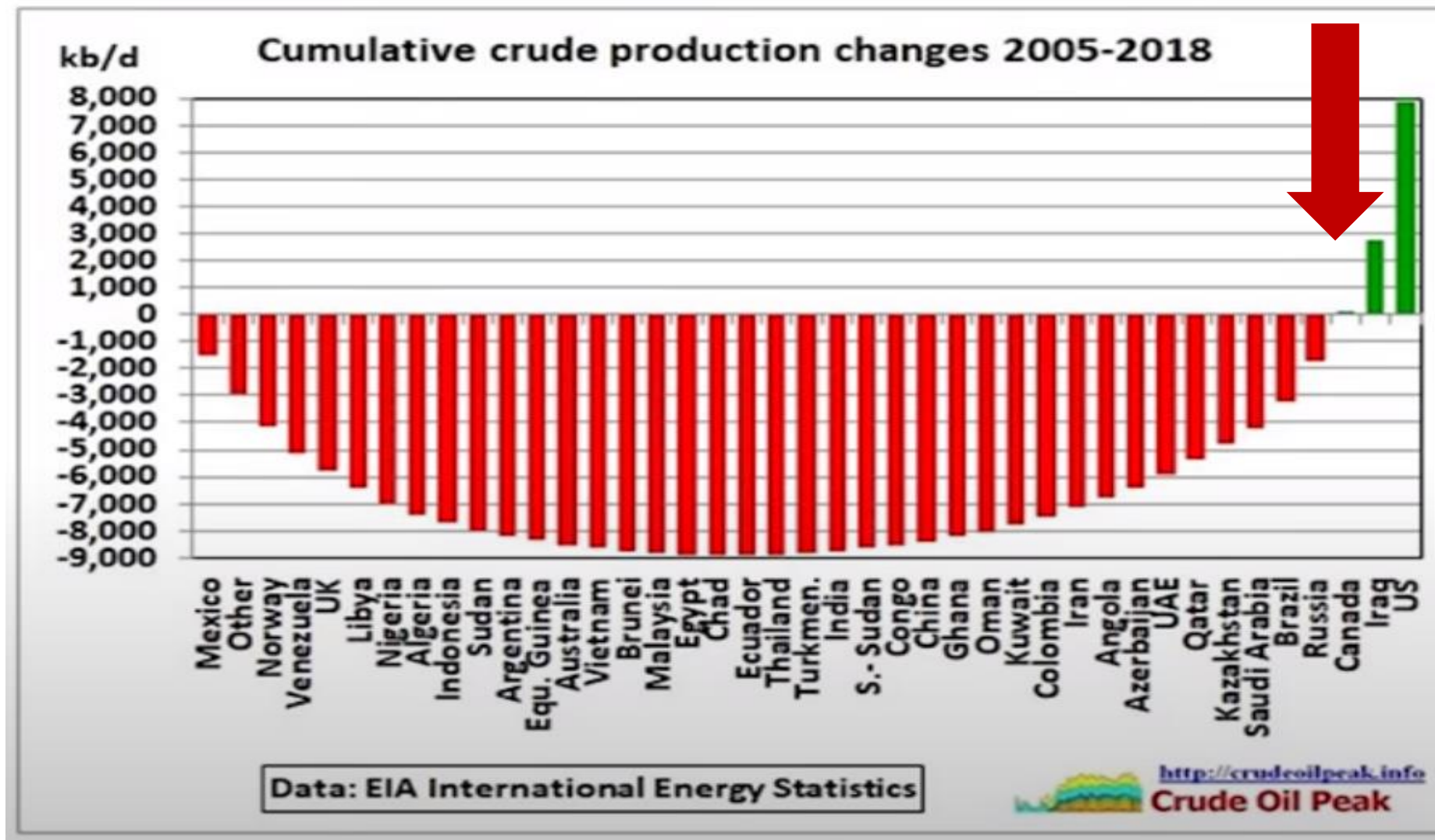
– Le pic pétrolier, un danger mortel pour l'Europe :

- <https://www.youtube.com/watch?v=LeDzFEyICXI&feature=youtu.be>

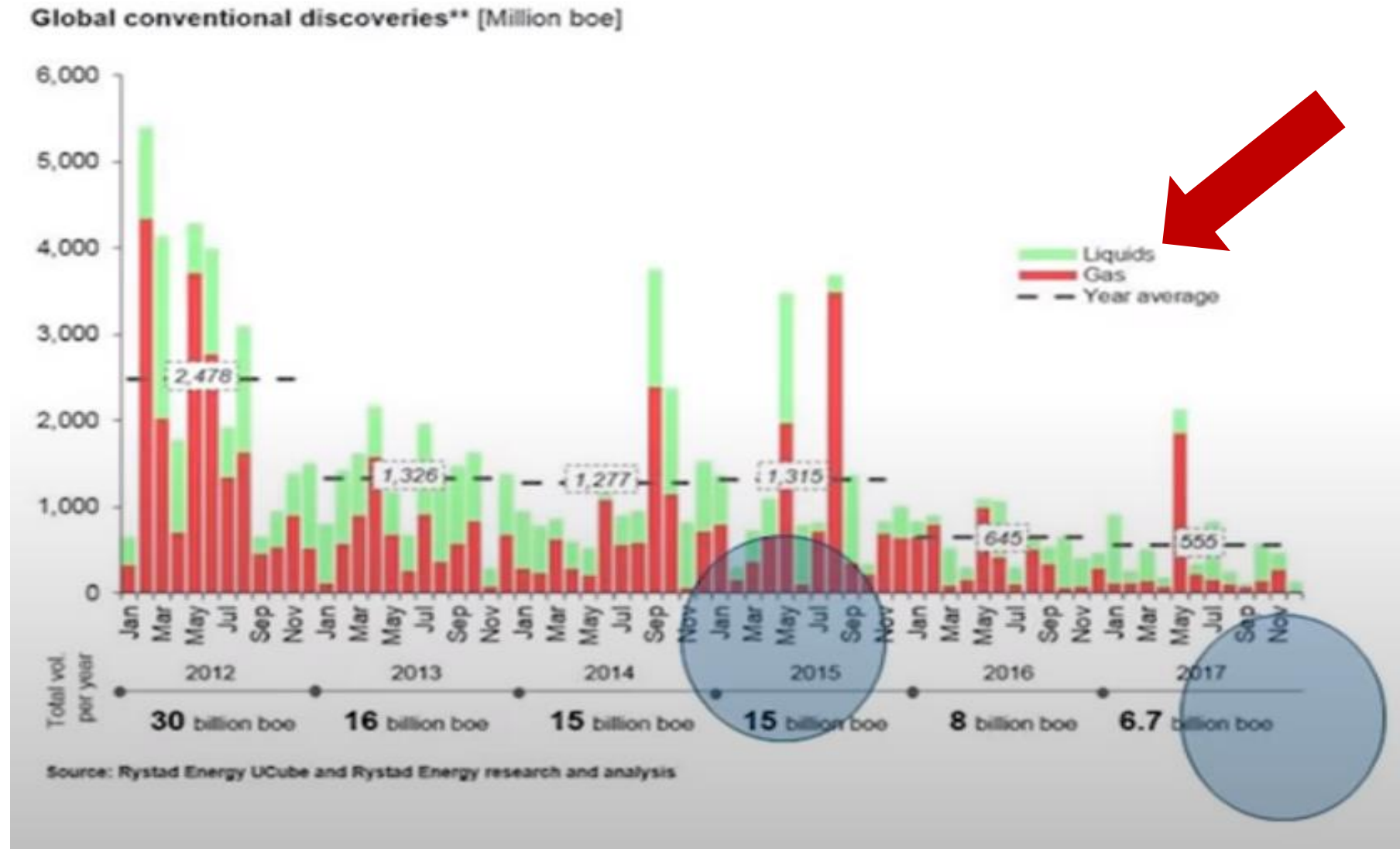


ENR2020

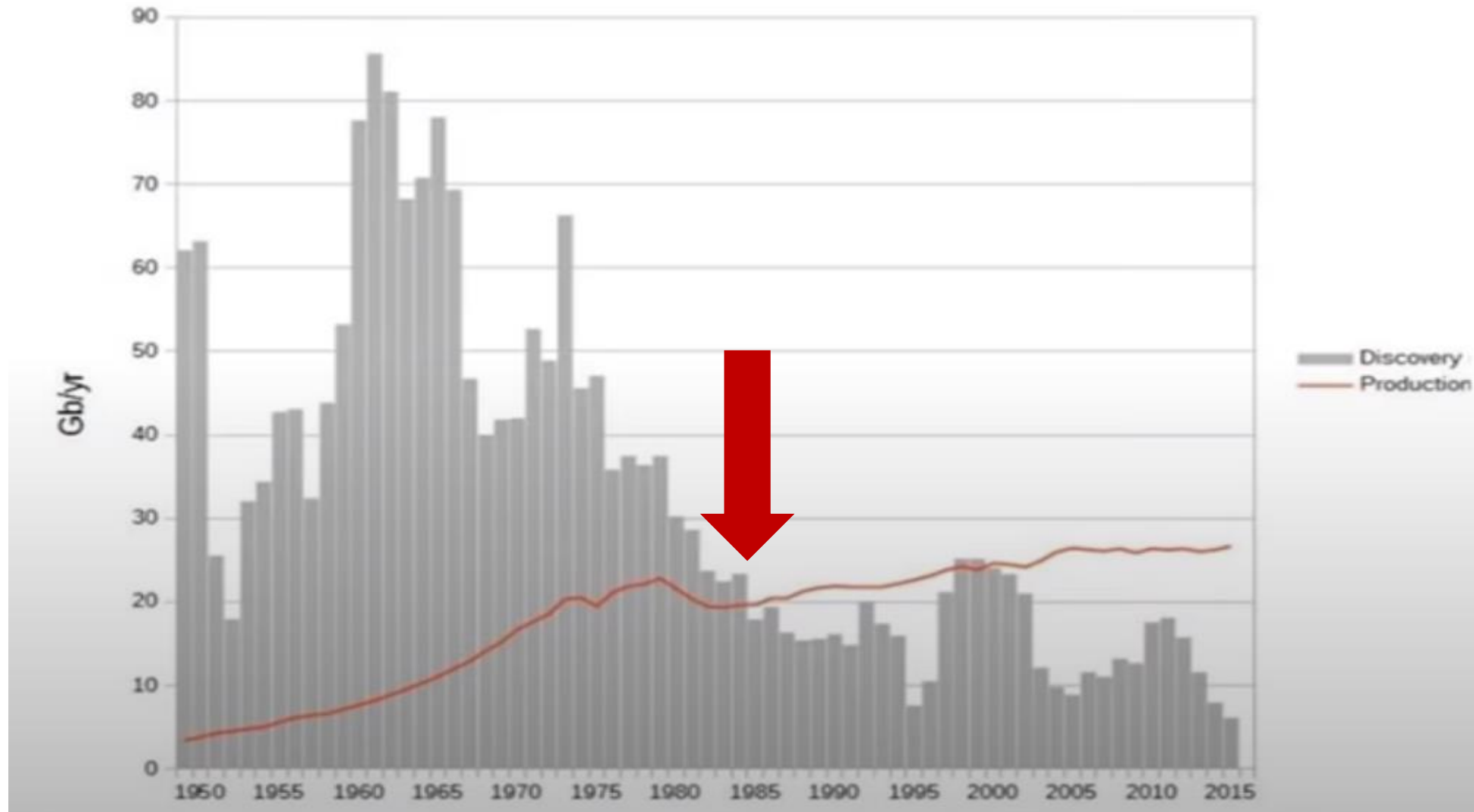
L'aube de l'ère post-pétrole?



L'aube de l'ère post-pétrole?



L'aube de l'ère post-pétrole?



L'aube de l'ère post-pétrole?

- L'aube d'une ère post-pétrolière ?
 - D'ici 2025, le monde sera au cœur d'une transition énergétique fondamentale — tant en termes de types de combustibles que de leurs ressources.
 - La production d'hydrocarbures liquides (c'est-à-dire le pétrole brut, les liquides de gaz naturel et les produits non conventionnels tels que les sables bitumineux) hors OPEP ne pourra pas **croître à hauteur de la demande**.
 - Les niveaux de production de nombreux producteurs d'énergie—Yémen, Norvège, Oman, Colombie, Royaume-Uni, Indonésie, Argentine, Syrie, Égypte, Pérou, Tunisie —sont **déjà** en déclin.

Global Trends 2025: A transformed world, International Intelligence Council
http://www.dni.gov/nic/NIC_2025_project.html



L'aube de l'ère post-pétrole?

- L'aube d'une ère post-pétrolière?
 - D'ici 2025, le monde sera au cœur d'une transition énergétique fondamentale — tant en termes de types de combustibles que de leurs ressources.
 - Les niveaux de production d'autres pays — Mexique, Brunei, Malaisie, Chine, Inde, Qatar — se sont **stabilisés**.
 - Le nombre de pays capables d'accroître significativement leur production va **diminuer**.
 - Seulement **six** pays — Arabie saoudite, Iran, Koweït, Émirats arabes unis, Irak (potentiellement) et Russie — devraient représenter 39% de la production mondiale totale de pétrole en 2025.

L'aube de l'ère post-pétrole?

- L'aube d'une ère post-pétrolière?
 - D'ici 2025, le monde sera au cœur d'une transition énergétique fondamentale — tant en termes de types de combustibles que de leurs ressources.
 - Les principaux producteurs seront de plus en plus situés au Moyen-Orient, qui contient environ **deux tiers** des réserves mondiales.
 - La production d'OPEP des pays du Golfe Persique devrait **augmenter de 43%** au cours de la période 2003-2025.
 - L'Arabie saoudite représentera à elle seule **près de la moitié** de la production totale du Golfe, une quantité supérieure à celle attendue de l'Afrique et de la région caspienne réunies.

L'aube de l'ère post-pétrole?

- L'aube d'une ère post-pétrolière?
 - D'ici 2025, le monde sera au cœur d'une transition énergétique fondamentale — tant en termes de types de combustibles que de leurs ressources.
 - Lorsque le Club de Rome a fait ses célèbres prévisions sur les pénuries imminentes d'énergie, les “sept sœurs” avaient encore une forte influence sur les marchés du pétrole et de leur production dans le monde.
 - Poussées par leurs actionnaires, elles ont réagi aux signaux des prix pour **explorer, investir, et promouvoir** les technologies nécessaires à l'augmentation de la production.

L'aube de l'ère post-pétrole?

- L'aube d'une ère post-pétrolière?
 - D'ici 2025, le monde sera au cœur d'une transition énergétique fondamentale — tant en termes de types de combustibles que de leurs ressources.
 - En revanche, les compagnies pétrolières nationales ont de fortes incitations économiques et politiques **pour limiter les investissements** afin de prolonger l'horizon de production.
 - Le maintien du pétrole dans le sol fournit des ressources aux générations futures dans les États pétroliers ayant limité leurs profits économiques.

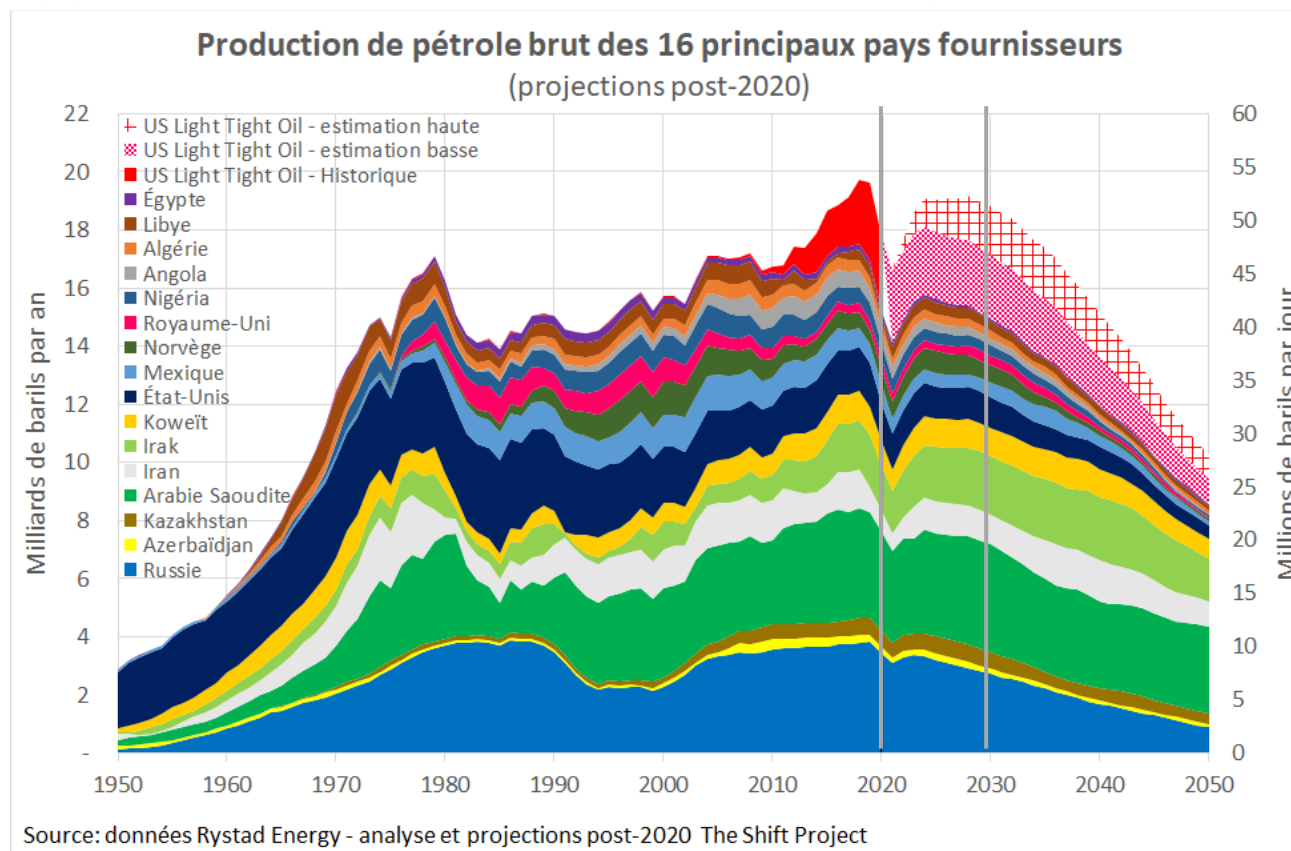
L'aube de l'ère post-pétrole?

- L'aube d'une ère post-pétrolière?
 - D'ici 2025, le monde sera au cœur d'une transition énergétique fondamentale — tant en termes de types de combustibles que de leurs ressources.
 - Le nombre et la répartition géographique des producteurs de pétrole vont diminuer parallèlement à une autre transition énergétique : le passage **à des carburants plus propres.**
 - À court terme, le combustible le plus prisé sera probablement **gaz naturel.**
 - D'ici 2025, la consommation de gaz naturel devrait augmenter d'environ **60 %**, selon les projections du DoE et de l'Energy Information Agency.

L'aube de l'ère post-pétrole?

- The Shift Project – Synthèse

- Approvisionnement de l'Union Européenne : état des réserves et perspectives.

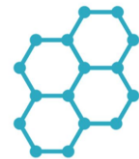


L'AIE va désormais dans le sens d'un abandon progressif de notre dépendance au pétrole, avant que ce ne soit la baisse (inévitabile) des réserves qui décident de notre avenir énergétique, de notre avenir global.

Cette étude montre que nous avons environ 10 ans de paix devant nous.

L'aube de l'ère post-pétrole?

- Quel est le lien entre le pic pétrolier et COVID-19



ENR2020

L'aube de l'ère post-pétrole?

- Quel est le lien entre le pic pétrolier et COVID-19
 - COVID 19, modèle SEIR simple

$$\frac{dS}{dt} = - (R_1 / T_{inf}) SI \quad \frac{dE}{dt} = + (R_1 / T_{inf}) SI - E / T_{inc} \quad \frac{dI}{dt} = E / T_{inc} - I / T_{inf} \quad \frac{dR}{dt} = I / T_{inf}$$

- Modèle simple de « susceptible–exposed–infectious–recovered [SEIR] models ». On peut y ajouter des « tas » de variations et d'autres équations, la mortalité, les hospitalisations, etc

– Les **variables** sont:

- S : Population non immune au virus SUSCEPTIBLE de l'attraper
- E : Population EXPOSÉE donc en incubation
- I : Population INFECTÉE en circulation
- R : Population RETIRÉE parce qu'elle est immunisée OU RETIRÉE CHEZ ELLE DONC COUPÉE DU VIRUS.

– Il y a donc quatre types de statut de population décrites par un tel système.

L'aube de l'ère post-pétrole?

- Quel est le lien entre le pic pétrolier et COVID-19
 - COVID 19

$$\frac{dS}{dt} = -\left(R_t / T_{inf}\right) SI \quad \frac{dE}{dt} = +\left(R_t / T_{inf}\right) SI - E / T_{inc} \quad \frac{dI}{dt} = E / T_{inc} - I / T_{inf} \quad \frac{dR}{dt} = I / T_{inf}$$

– Les **paramètres** sont :

- R_t : le nombre de REPRODUCTION qui indique le nombre de personnes qui seront infectées par un individu.
- T_{inc} : Temps d'INCUBATION avant déclenchement des symptômes
- T_{inf} : Temps d'INFECTION où le patient peut transmettre la maladie

L'aube de l'ère post-pétrole?

- Quel est le lien entre le pic pétrolier et COVID-19
 - COVID 19, modèle SIR, plus simple encore

$$\frac{dS}{dt} = -(\beta)SI$$

$$\frac{dI}{dt} = (\beta)SI - (\gamma)I$$

$$\frac{dR}{dt} = (\gamma)I$$

– Les **variables** sont:

- S : Population non immune au virus SUSCEPTIBLE de l'attraper
- I : Population INFECTÉE en circulation
- R : Population RETIRÉE parce qu'elle est immunisée OU RETIRÉE CHEZ ELLE DONC COUPÉE DU VIRUS.

– Les **paramètres** sont :

- Beta : le *taux* d'INFECTION
- Gamma : le *taux* de RÉCUPÉRATION (de retrait, de gens immunisés ou morts)

L'aube de l'ère post-pétrole?

- Quel est le lien entre le pic pétrolier et COVID-19
 - Pic pétrolier, modèle de Hubbert

$$P = \frac{dQ}{dt} = \omega Q \left(1 - \frac{Q}{Q_\infty}\right)$$

– Les **paramètres** sont :

- t is time in years
- Q(t) is cumulative production in billion barrels at year t.
- Q_∞ is the ultimate recoverable resource.
- P(t) = d Q/dt is production in billion barrels/year at year t.
- τ is the year at which production peaks.
- ω is an inverse decay time (imaginary frequency).

L'aube de l'ère post-pétrole?

- Quel est le lien entre le pic pétrolier et COVID-19
 - Analogie Pic pétrolier vs épidémie
 - **Dans une population**
 - $N = S + I + R$, le nombre total d'individus (excluant naissances et décès)
 - **Dans une ressource de pétrole**
 - $Q^\infty = \text{Res}(t) + Q(t)$, le nombre total de barils qu'il y avait dans la croûte terrestre
 - $\text{Res}(t)$ ce qui reste à extraire, analogue à la population qui reste à contaminer, S
 - $Q(t)$ ce qui a été extrait, analogue à la population infectée, I

Il n'y a pas d'équivalent à R (pas de nombre de reproduction), car une fois RÉCUPÉRÉ ou RETIRÉ (si vous me permettez l'expression), le pétrole devient H_2O et CO_2 , n'est plus du pétrole, ne participe plus à Q^∞ . Il n'y a donc pas d'équivalent à Γ non plus, $\Gamma = 0$, car aucun taux de récupération ou de retrait. Il ne reste enfin que deux types de statut de population dans le système (du pétrole à pomper et du pétrole extrait).

L'aube de l'ère post-pétrole?

- Quel est le lien entre le pic pétrolier et COVID-19
 - Analogie Pic pétrolier vs épidémie

$$\frac{dQ}{dt} = \omega Q \left(1 - \frac{Q}{Q_{\infty}}\right) \quad \frac{1}{Q} \frac{dQ}{dt} = \omega \left(1 - \frac{Q}{Q_{\infty}}\right) \quad \frac{1}{Q} \frac{dQ}{dt} = \omega \left(\frac{R_{es}}{Q_{\infty}}\right) \quad \frac{1}{Q} \frac{dQ}{dt} = \frac{\omega}{Q_{\infty}} R_{es}$$
$$\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = (\beta) S - (\gamma)$$
$$\beta = \frac{\omega}{Q_{\infty}}$$

En bref, le manque de pétrole est une simple épidémie!

Pour être plus cynique, une épidémie où le taux de mortalité est de 100%.

Un baril pompé est un baril irrémédiablement perdu! On devrait en faire bon usage....



Merci de votre attention !

Lorsque cette capsule de formation est présentée en asynchrone (PDF récupérable sur le site du cours), si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

