

DEA-Paris 1 "Anthropologie des techniques contemporaines"

Sorbonne 9 décembre 2002

" Réflexions sur les lois de la nature et les prévisions pétrolières "

par Jean Laherrère e-mail jean.laherrere@wanadoo.fr

Table de matière de l'exposé

-1-Nature

-2-Pétrole

-3-Economie

-4-Population

-5-Climat

Il existe un brouillon plus complet de cette présentation qui peut être obtenu (ainsi que ces retours) en me la demandant par e-mail

Sites Internet:

<http://www.oilcrisis.com/laherrere/>

<http://mwhodges.home.att.net/energy/table.htm>

<http://dieoff.com/page 140.htm>

Citations :

Paul Valéry: "Tout ce qui est simple est faux et tout ce qui est complexe est inutile"

Saint Exupéry: "Nous n'héritons pas de nos parents, nous empruntons à nos enfants"

Socrate: "La seule chose que je sais, c'est que je ne sais pas"

Jean Rostand: "Plus je sais, plus je sais que je ne sais pas"

Albert Einstein: "Seules deux choses sont infinies: l'Univers et la stupidité humaine, et je ne suis pas sûr du premier"

Claire Booth Luce: "La différence entre un optimiste et un pessimiste est que le pessimiste est habituellement mieux informé"

Kenneth Boulding: "Celui qui croit qu'une croissance exponentielle peut continuer pour toujours dans un monde fini est un fou ou un économiste"

Vieil adage: "Un bon dessin vaut mieux qu'un long discours"

Je vais essayer de vous montrer que des graphiques peuvent être très parlants

-1-Nature

Théories actuelles et réalités

-une nouvelle théorie remplace une ancienne en apportant plus de solutions, mais elle sera elle-même remplacée plus tard

-le point sans dimension, la droite infinie, l'infiniment grand et l'infiniment petit n'existent pas dans la Nature

-tout est courbé par la matière

-tout ce qui naît, meurt ou mourra: le Soleil, la Terre, les espèces, les hommes. **Seuls les protons sont éternels.**

-tout est limité: l'âge de l'Univers est environ 15 Ga, en année-lumière = $2 \cdot 10^{24}$ m, le nombre de protons est 10^{80}

Il y a 10^{23} protons dans une goutte d'eau. Mais la densité moyenne de l'Univers est de quelques particules par mètre cube. Le noyau dans un atome représente proportionnellement un mouche dans une cathédrale. **L'Univers est donc surtout du vide!**

On ne connaît pas la taille de l'électron (découvert il y a plus de 100 ans) L'électron a été d'abord une particule, puis une onde (avec de Broglie), puis onde et particule et maintenant ni onde, ni particule.

Il existe un quantum d'énergie, donc de matière et d'espace, mais les théories actuelles ne disent rien sur un quantum de temps?

La mécanique quantique est contradictoire avec la théorie de la relativité.

Personne ne comprend la mécanique quantique (a dit Richard Feynman, qui est le plus grand et le plus complet scientifique du 20e siècle)

La théorie du tout (Einstein a passé plus de 30 ans à la chercher en vain) est supposée être résolue par la théorie des cordes où les particules sont remplacées par des supercordes "infiniment" petites qui vibrent. Les théories des cordes (il y en a plusieurs) existent depuis plus de 30 ans et des milliers de chercheurs y travaillent sans succès jusqu'à présent.

La cosmologie veut expliquer l'Univers et son devenir (expansion infinie ou cyclique), alors que l'on ignore 90 à 95 % de sa composition!

Le temps peut être courbe comme l'espace, sans début, ni fin.

La Nature n'est pas linéaire et les problèmes ont plusieurs solutions.

Les mathématiques ne résolvent pas tous les problèmes: les 3 corps de Poincaré, ce qui explique le comportement chaotique du système solaire.

-1-1-Modélisation

-Evénement dans le temps = cycles

La croissance permanente n'existe pas dans la Nature.

Une bactérie, qui double toutes les demi-heures, disposant de toutes les ressources nécessaires, occuperait le système solaire en une semaine et l'Univers en 11 jours!!

Tout ce qui monte, doit redescendre.

Tout ce qui naît, doit mourir.

Tout évènement naturel peut être modelé avec un ou plusieurs cycles symétriques (courbe en cloche).

Figure 2: Capitalisation boursière aux Etats-Unis en pourcentage du PIB de 1875 à 2001

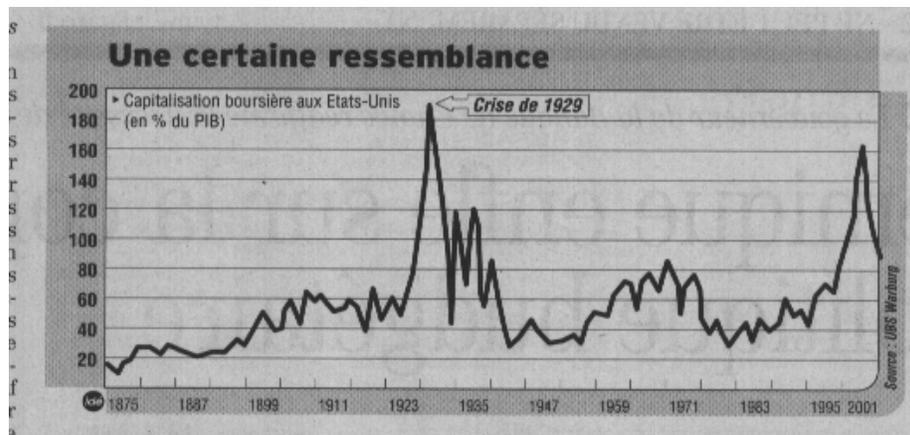


Figure 3: Vache folle au Royaume-Uni

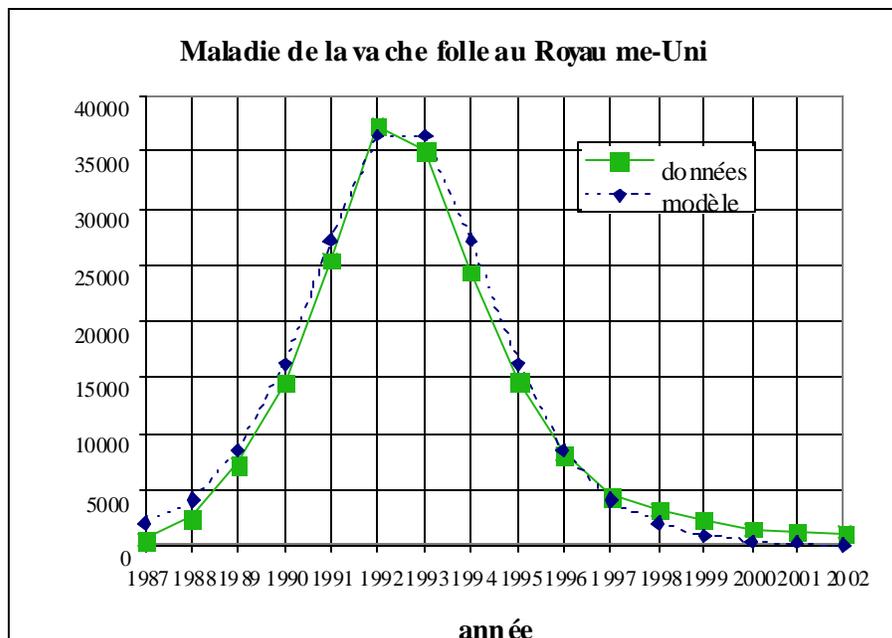


Figure 4: Nombre de puits forés aux Etats- Unis

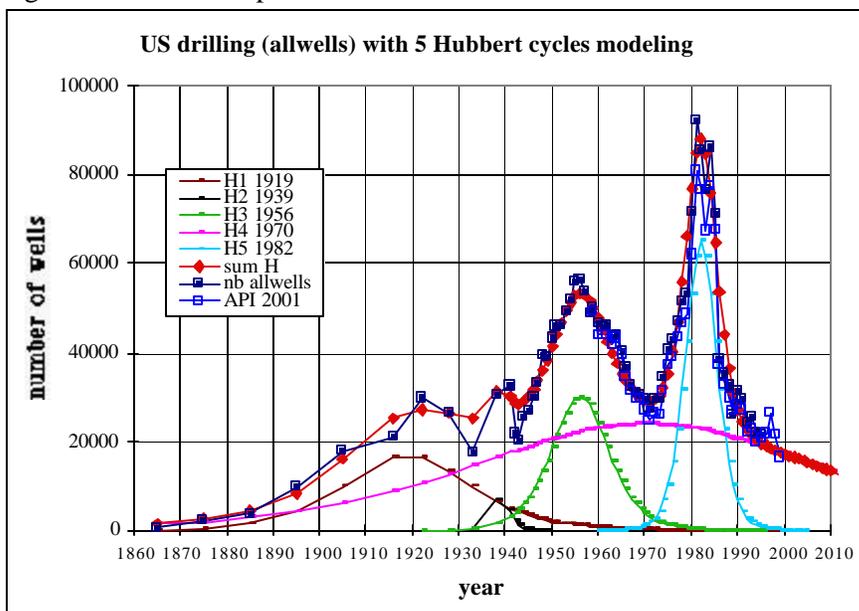
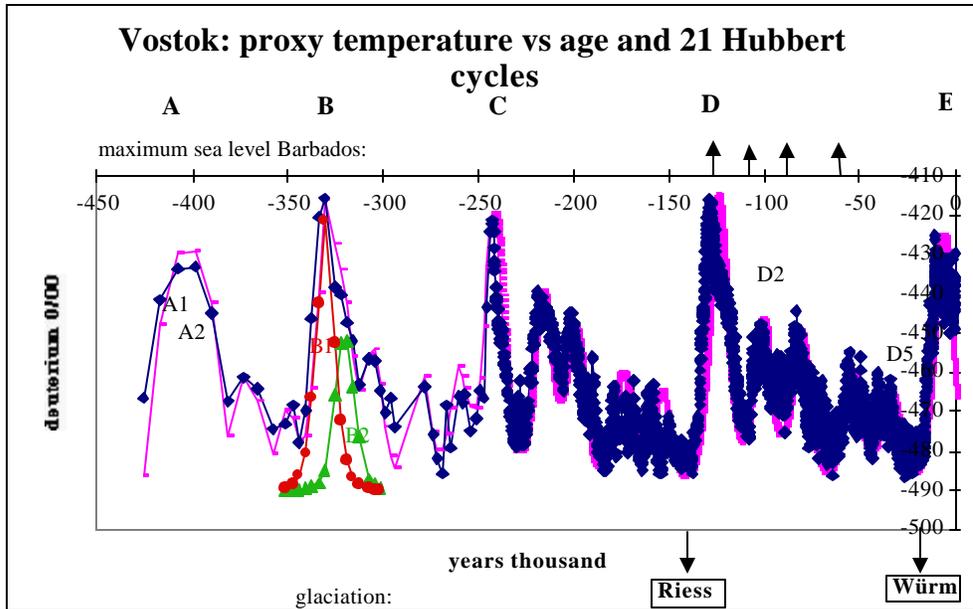
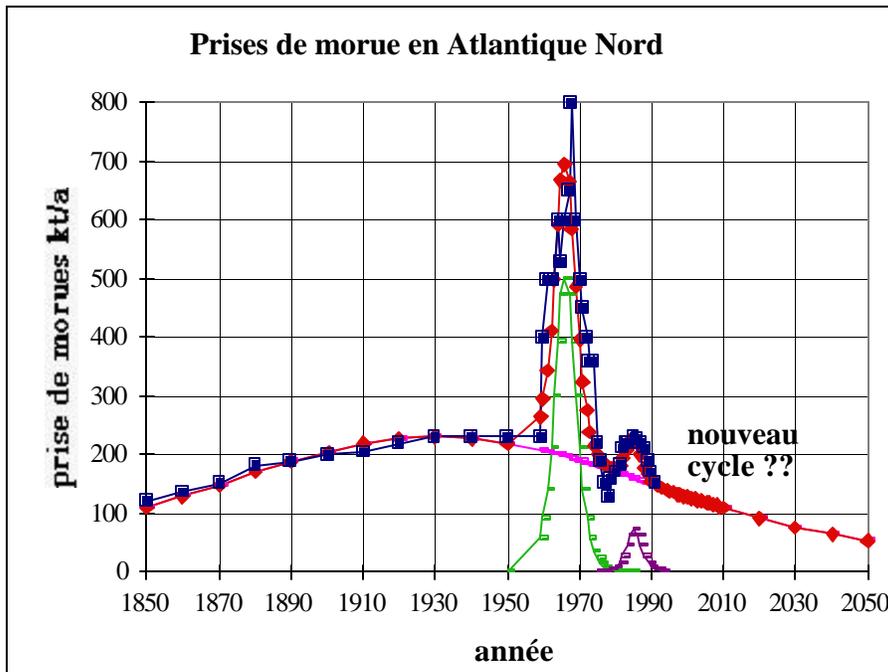


Figure 6: Température d'après les glaces de Vostok (Antarctique) sur 430 000 ans modélisée avec 21 cycles de même durée (30 000 ans)



Nous allons irrévocablement dans quelques milliers d'années vers un épisode glaciaire, avec une baisse du niveau de la mer (-120 m il y a 20 000 ans)

Figure 8: volume de prises de morue dans l'Atlantique Nord



-Distribution d'après la taille des objets

La Nature est caractérisée par l'auto-similarité = une partie est semblable au tout (chou-fleur) = fractale dans une représentation taille-rang log-log, auto-similarité parfaite = fractale linéaire (en fait loi de puissance) mais auto-similarité limitée (côte de Bretagne) = fractale courbe

Figure 9: nombre d'agglomérations urbaines aux Etats-Unis

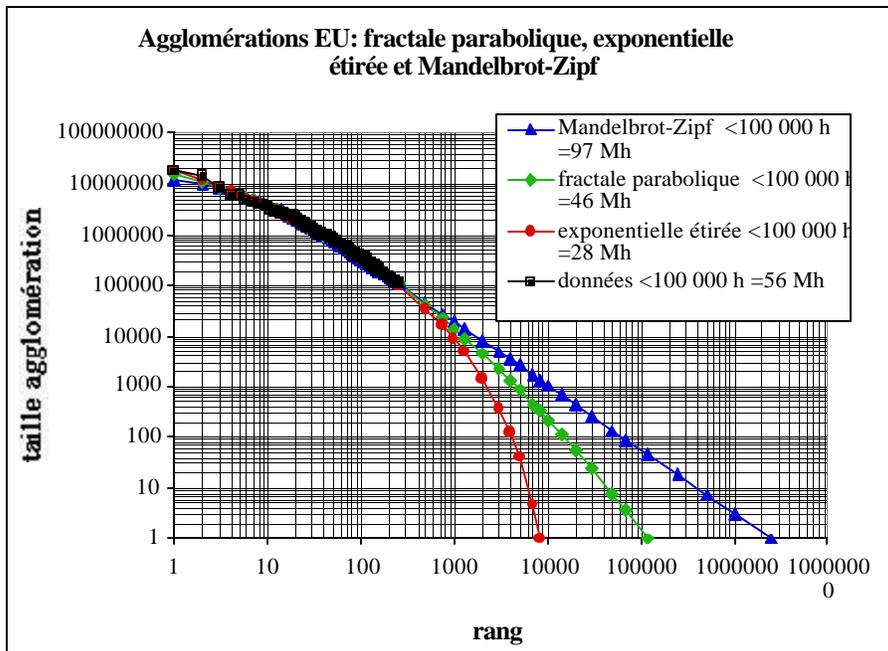
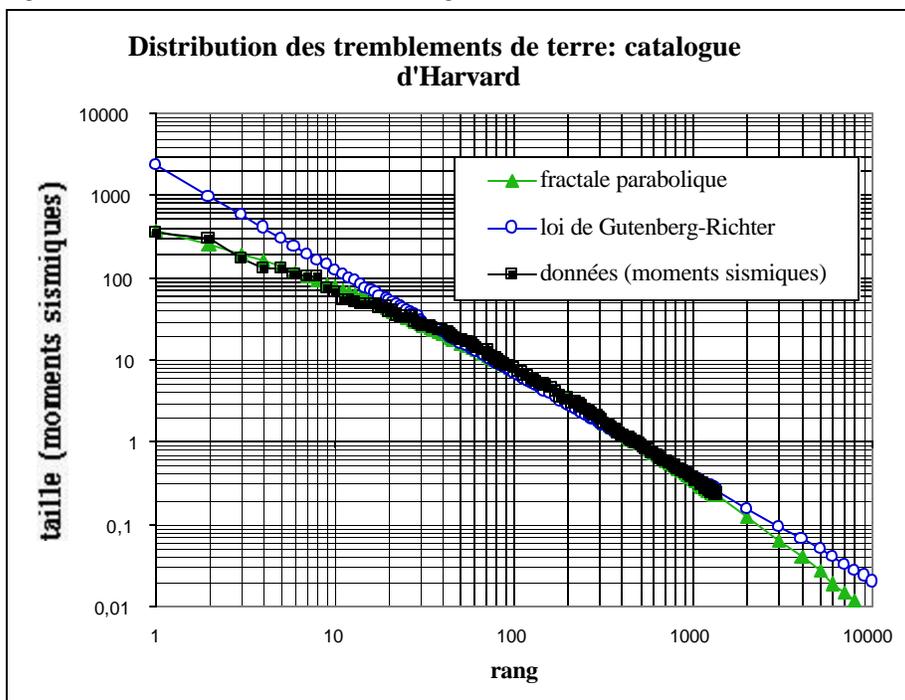


Figure 10: tremblements de terre: magnitude -nombre



-1-2-Inégalité

La Nature est caractérisée par l'inégalité: 99% de l'Univers visible est sous forme de plasma où le solide constitue une partie très faible.

Il ne faut pas confondre égalité à la ligne de départ et égalité à la ligne d'arrivée. Au départ 300 millions de spermatozoïdes, mais un seul a fécondé l'ovule qui nous a produit.

Pareto (1848-1923) a énoncé son fameux 80/20 sur les distributions taille-nombre: c'est une loi de puissance ou une fractale linéaire:

80% des subventions aux fermiers vont à 20% des fermiers.

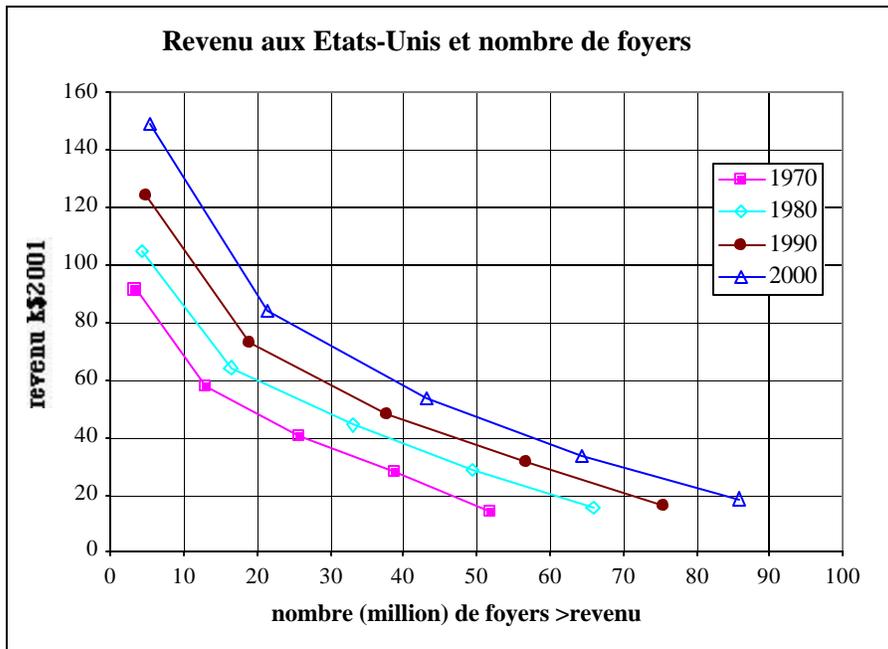
80% des dépenses de maladies sont pour 20% des malades.

Depuis le début de la vie avec les bactéries, les espèces ont évolué vers une plus grande complexité, avec actuellement l'homme au bout de la chaîne, mais le centre de gravité reste à peu près le même. Actuellement sur Terre, ce sont encore les bactéries qui dominent en nombre.

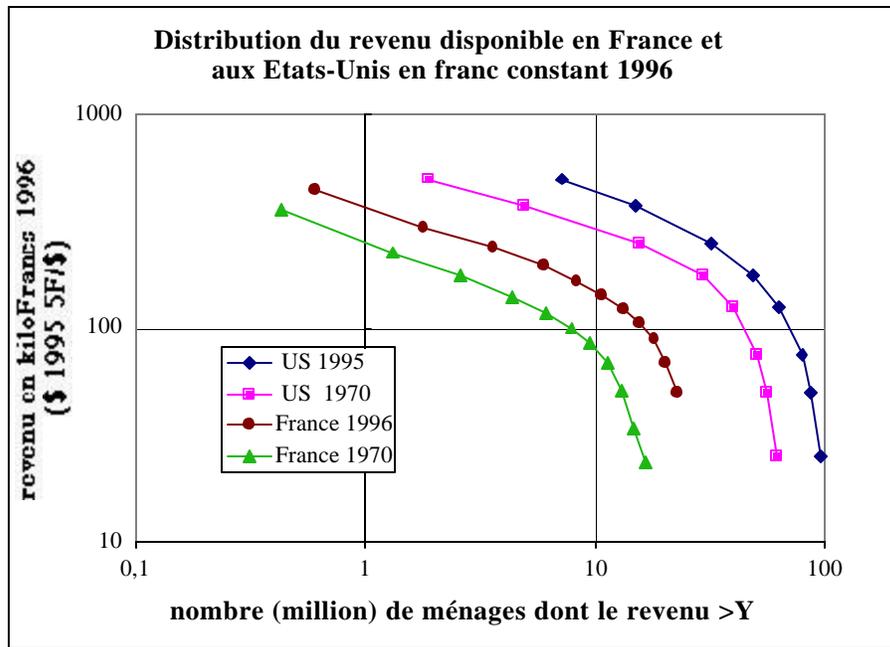
Pour l'évolution des revenus, on parle d'inégalité qui augmente sur des ratios discutables, sans se préoccuper de l'augmentation du nombre de bénéficiaires.

L'inégalité est surtout jugée sur les revenus monétaires des individus (et non sur leur bonheur de vivre).

Figure 11 revenu-nombre aux Etats-Unis qui evolue parallèlement



Le fauché d'hier peut devenir le plus riche d'aujourd'hui (Gates-Khodorkovski). Le plus riche d'aujourd'hui peut être ruiné demain et redescendre à zéro
 Figure 15: revenus en France et aux Etats-Unis en Franc 1996



le parallélisme est remarquable, si la France avait autant de ménages que les E-U, nos riches seraient aussi riches

-2-Pétrole

Quelques rappels sur les hydrocarbures

Historique

Les feux éternels (gaz naturel) ont été l'objet de culte à Kirkouk il y a 6 000 ans.

Les Chinois ont exploité du sel, il y a 3 000 ans en découvrant du gaz (forage au bambou à 200 m) qu'ils ont utilisé pour faire sécher la saumure.

Le **bitume** est signalé dans la Bible (Mer Morte). Il a été utilisé dès l'Antiquité pour l'étanchéité des bateaux, comme mortier pour les maisons et les feux grégeois. Les premiers puits d'huile à la main ont été forés à Bakou en 1594 (35 m).

Les **sables bitumineux** ont été exploités à Pechelbronn dès 1735.

Les **schistes bitumineux** ont été exploités comme combustibles vers 1750 en Chine et vers 1850 en France à Autun et en Ecosse.

Le **premier forage moderne (à câble)** a eu lieu en 1848 à Bakou, en 1854 en Pologne, en 1858 au Canada et enfin en 1859 aux Etats-Unis (pour les Américains c'est le premier!). Le premier forage rotary date de 1902 et est encore le système utilisé.

Génération du pétrole

-production annuelle MO (matière organique)= 23 Gt océans 0,7 Gt terre

La grande majorité de la MO est oxydée avant sédimentation.

-MO fossile dans les sédiments = <1% MO produite cumulée sur 500 Ma

-ressources de combustibles fossiles concentrés = 1% MO fossile

-réserves ultimes pétrole conventionnel = 0,3 % ressources

La MO préservée dans les sédiments (roche mère ~ 5% MO) se transforme en champs de pétrole si:

Enfouissement avec un gradient thermique ~ 30°C/km

Génération de pétrole (fenêtre à huile 1 km-4 km),

Expulsion du pétrole de la roche mère

Migration mélangée à eau vers le réservoir (sable, calcaire, récif)

Piégeage (majorité anticlinal) avec couverture (argile, marne, sel)

Préservation du champ, mais possibilité de dégradation par les bactéries donnant des **sables bitumineux** (fin de cycle).

Schistes bitumineux = roches mères immatures (début de cycle), nécessitant une pyrolyse vers 600°C pour obtenir du pétrole, à classer dans les charbons. Ceux ne sont ni des schistes, ni du bitume!

Caractéristiques des hydrocarbures (HC)

Les HC sont contenues (avec de l'eau) dans les pores des roches dites **réservoirs** et peuvent être produits si la roche est **poreuse** et **perméable** (pores connectés). Les paramètres essentiels du réservoir sont la porosité, la perméabilité et la saturation en eau. Un champ de pétrole est habituellement une superposition de gaz, surmontant l'huile, surmontant l'aquifère. Le **pétrole** est caractérisé par sa densité, sa viscosité et sa teneur en soufre, mais en fait chaque brut a une composition différente.

Récupération

Une partie du pétrole dans les pores du réservoir d'un champ n'est pas déplaçable (problèmes de capillarité) et le taux de récupération par rapport au volume en place varie suivant les qualités du réservoir (configuration des pores) pour le pétrole de 3% (fractures) à 80%.

La moyenne est autour de **45-50% pour le pétrole**, alors qu'elle est de **75 à 80% pour le gaz**.

La **récupération primaire** du pétrole se fait, dans des puits producteurs espacés, par expansion de l'huile et du gaz et par poussée de l'aquifère sous-jacent.

La **récupération secondaire** se fait en injectant dans des puits injecteurs de l'eau (plus bas) ou du gaz (plus haut).

La **récupération tertiaire** se fait par modification des caractères physiques de l'huile ou de l'eau (injection vapeur, solvant, ...). Elle ne représente que de l'ordre de 2% de la production actuelle.

Le pétrole est dit **conventionnel ou non**, avec des définitions diverses. Pour certains, c'est le pétrole difficile et cher. Pour d'autres c'est un état physique particulier du pétrole sans considération économique ou technique, quand le gisement n'a pas de contact défini HC-eau.

Unités et équivalences

Depuis 1993 les agences fédérales américaines sont obligées d'utiliser le SI = Système International d'unités, qui est la loi en Europe (sous peine d'amende!).

Le baril de pétrole n'est pas une unité légale aux US, mais c'est le gallon (3,5 l), les agences fédérales sont obligées d'écrire après barrel (42 US gallons). Le sigle bbl est souvent utilisé par ceux qui ignorent ce que cela veut dire: blue barrel, pourquoi bleu?

L'industrie pétrolière américaine s'accroche à des symboles périmés comme le M pour millier alors que l'Américain de la rue parle de megabyte (MB) pour son ordinateur et de bug de l'an Y2K.

La perte de la sonde américaine sur Mars à l'automne 99 est due à ce que la Nasa a envoyé des instructions en unité métrique alors que Lockheed l'avait construite en unité anglo-saxonne.

L'industrie pétrolière anglaise viole la loi en utilisant **mn pour million**.

Tous ceux (99% des papiers, en particulier français) qui pensent bien faire en utilisant **Gm³ pour milliard de mètres cubes**, oublient ce qu'ils ont appris en sixième et que cela représente un **gigamètre au cube** (environ un million de fois le volume de la terre) alors qu'il faut utiliser **kilomètre cube ou G.m³**, sinon km² représente un millier de mètres carrés soit 0,1 hectare.

L'énergie (et le travail ainsi que la chaleur) est mesurée en joule (J). La puissance d'une énergie est mesurée en watt (W) qui correspond à un joule par seconde. Une facture en kWh est une complication (qui plait à EDF et GDF) car c'est une quantité de travail et elle devrait être en joules puisque $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ (megajoule). En Belgique, la note d'électricité et de gaz est en gigajoules (GJ). En Australie et au Canada, tout est exprimé en petajoules.

Le problème est que travail et chaleur sont maintenant mesurés avec la même unité (autrefois il y avait la calorie), alors que la chaleur peut être un objectif ou une nuisance.

Il y a souvent confusion dans l'énergie d'un système entre l'énergie à l'entrée et l'énergie à la sortie.

La définition légale en France de la tonne équivalent pétrole est

$$1 \text{ tep} = 42 \text{ GJ.}$$

Un MWh, égal à 3,6 GJ, représente donc à la sortie à $3,6/42 = 0,086 \text{ tep}$, mais pour produire ce MWh, si la centrale a un rendement de 33%, il faut donc à l'entrée 3 fois plus de pétrole pour le produire, soit 0,26 tep.

Les équivalences entre énergies varient suivant les organismes et pays.

En 2001 le ministère de l'industrie (DGEMP) a changé ses conventions avec pour but de s'aligner sur ce que font les autres organismes en prenant un rendement de 33% pour le nucléaire (Total prend 40% et le Conseil Mondial de l'Energie 38,6 %), 10 % pour la géothermie et 100 % pour le classique et renouvelables. C'est des conventions discutables!

Le bilan révisé en pourcentage est donc ainsi profondément modifié:

Consommation d'énergie primaire en 2001 en %

	Nouvelle méthode	Ancienne méthode
Charbon	4,4	4,6
Pétrole	35,9	38,5
Gaz	13,8	14,5
Nucléaire	38,8	30,8
Hydraulique, éolien, photovoltaïque	2,5	6,9
Autres énergies renouvelables	4,5	4,7

Consommation d'énergie finale en 2001 en %

	Nouvelle méthode	Ancienne méthode
Charbon	3,9	2,9
Pétrole	51,3	39,8
Gaz	19,0	14,4
Electricité	19,6	38,3
Energies renouvelables thermiques	6,1	4,6

La presse a parlé de manipulations, mais en fait les journalistes n'ont rien compris à la complexité du problème.

Les énergies éoliennes sont surtout données en puissance théorique installée (comme si le vent soufflait constamment) et non en puissance réelle produite, il faut les corriger d'un facteur de l'ordre de 5 à 20.

Le bilan énergétique mondial comporte, suivant les auteurs, les énergies non commerciales ou non.

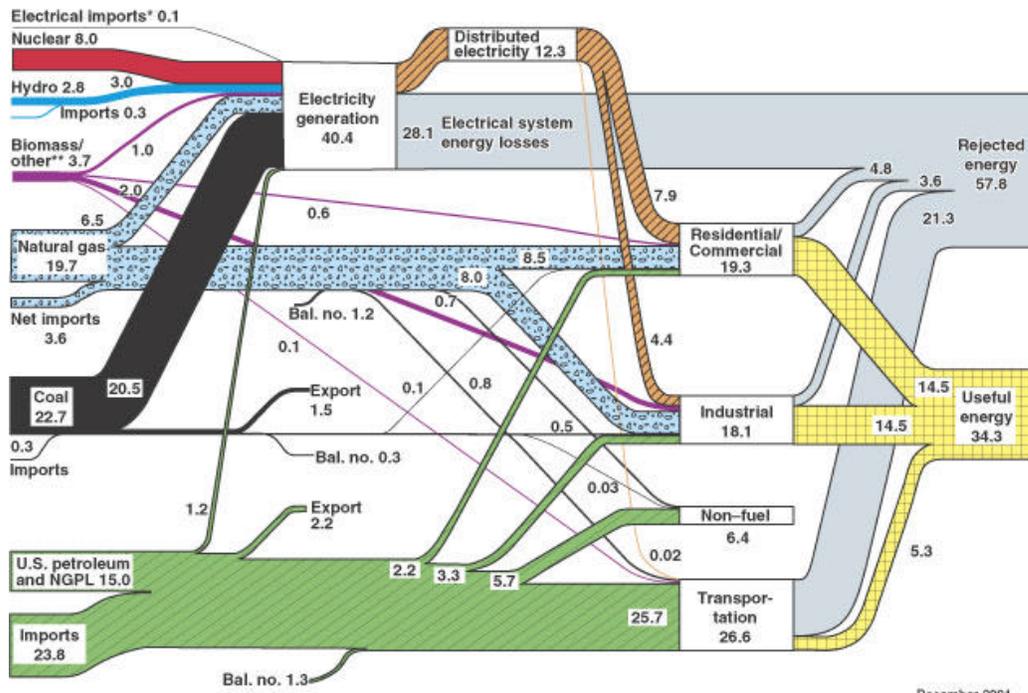
Mais si l'énergie utilisée pour le tracteur qui laboure est comptée, l'énergie pour nourrir le bœuf ou le cheval qui laboure n'est pas comptée. De même l'énergie utilisée pour la voiture qui nous transporte est comptée, mais pas l'énergie qui nous nourrit quand nous marchons ou allons en bicyclette.

L'énergie de l'alimentation des hommes et des animaux de trait représente plus de 10% du total énergétique, mais elle n'est pas comptée dans les bilans officiels qui comprennent pourtant la biomasse non-commerciale consommée pour chauffer (mais pas se nourrir).

Le graphique du flux de l'énergie aux E-U montre la complexité de la consommation et la perte à la sortie: 62 % en moyenne, mais 80 % pour le transport et 70% pour la génération d'électricité

U.S. Energy Flow Trends – 2000

Net Primary Resource Consumption 98.5 Quads



Source: Production and end-use data from Energy Information Administration, Annual Energy Review 2000
 *Net fossil-fuel electrical imports
 **Biomass/other includes wood and waste, geothermal, solar, and wind.

December 2001
 Lawrence Livermore
 National Laboratory

Rapport 2000 du Conseil Mondial de l'Énergie (CME) [CEP=consommation énergie primaire](#) pour 2000:

Région	CEP Gtep	Population G	CEP/capita tep
Amérique du Nord	2,5	0,31	8,1
Japon/Australie/Nelle Zélande	0,7	0,15	4,7
Europe Ouest	1,8	0,52	3,5
ex-URSS	1,1	0,35	3,4
Moyen Orient	0,4	0,17	2,4
Amérique Latine	0,6	0,52	1,2
Chine	1,1	1,26	1
Autre Asie	0,8	0,96	0,8
Afrique	0,5	0,79	0,6
Inde	0,5	1	0,5
Monde	10	6	1,7

L'Indien est plus mal loti que l'Africain!

Dernière publication du Conseil Mondial de l'Énergie (WEC)

"The drivers of the energy scene" Le Caire 20-26 Octobre 2002

[Nouvelles prévisions comparées aux anciennes qui sont très différentes:](#)

Variable	1998 IIASA/WEC	2000 IIASA/IPCC	Extrapolation passé
Population 2050	10,1	8,7	8 milliards
Population 2100	11,7	7,1	<6 milliards
PIB 2050/1990	3,7-5	4-9	2-3
PIB 2100/1990	10-15	11-25	3
Energie 2050/1990	1,6-2,8	2,3-4	<2
Energie 2100/1990	2,3-5	1,5-6,3	<2
CO2 2100	450-750	450-950	<550 ppm

Pour le WEC, le problème de la production pétrolière n'est pas la taille du réservoir, mais la taille du robinet (qui dépend des investissements)

Quelques chiffres en pourcentage mondial

-US 2000

population 283/6000 Mhab	5%
production pétrole 8,1/75,1 Mb/d	11%
consommation pétrole 19,7/76 Mb/d	26%
consommation énergie 2,3/9,1 Gtep/a	25 %
consommation énergie par habitant 7,9/1,7 tep	460 %
immigration	30 %
voitures	40 %
dépenses militaires	>50 %
dollar dans commerce	60 %
hommes de loi	70 %

-Arabie Saoudite 2000

population 20 Mhab/6000	0,3%
production pétrole 9,1/75,1 Mb/d	12%
consommation pétrole 1,3/76 Mb/d	1,7%
consommation énergie 0,1/9,1 Gtep/a	1,2 %

-2-1-Coût et énergie nette

-Bilan énergétique ou énergie nette

L'extraction d'une matière première dépend principalement du prix que le consommateur est prêt à payer. L'extraction d'une énergie est différente, **car il ne faut pas que l'énergie investie ne soit pas supérieure à l'énergie délivrée.** Pour l'éthanol à partir du maïs, l'énergie investie est de 1 à 1,7 fois l'énergie produite, la production ne tient que par les subventions.

-2-2-Technologie

Etymologie : discours sur la technique, utilisé depuis plus d'une décennie à la place du mot "techniques" (pas dans votre DEA), alors que les techniques industrielles plafonnent.

Les économistes et les politiciens croient trop dans la technologie future (père Noël) et ne croient pas ce que disent les techniciens.

Les soi-disantes nouvelles technologies ont en fait plus de 20 ans (3D, puits horizontaux et à long déport).

Succès des dix dernières années en techniques:

- GPS en topographie
- puissance ordinateurs
- production sous-marine
- forage dirigé

- enregistrement des paramètres physiques durant le forage
- Echecs** des dix dernières années en techniques:
- perte sonde Mars climate orbitor: confusion système métrique
- bug Y2K : coût faramineux pour 2 chiffres manquants
- pas de bug Y2K : pour ceux qui n'ont rien fait
- le pouvoir de résolution de la sismique
- stockage des données: obsolescence des supports & des lecteurs

Faut-il obliger le Moyen Orient de produire à pleine capacité comme le veulent certains Américains (but de la campagne de Bush en Irak), mais ne faut-il pas obliger alors les constructeurs d'automobiles de produire à pleine capacité (60 millions de voitures) alors qu'ils ne produisent que 45 millions par an?

-2-3-Réerves, ressources, incertitude et probabilité

Confusion entre réserves et ressources:

Aux US dans le domaine de la **finance**:

- ressources** = immédiatement disponible en espèces, comme le compte courant, l'épargne,
- réserves** = immobilier, voitures et autres propriété qui ne peuvent être réalisées immédiatement.

Au contraire pour le **pétrole** :

- réserves** = production future avec les techniques et l'économie actuelles
 - ressources** = soit le volume contenu dans le sous-sol, soit le volume que l'on pourrait produire sans contrainte technique et économique des champs connus ou à découvrir.
- La confusion est donc grande entre ces 2 termes, expliquant en partie les incompréhensions entre optimistes et pessimistes.

Approche de l'incertitude: déterministe ou probabiliste?

L'approche probabiliste est refusée par de nombreux acteurs de l'industrie pétrolière au profit de l'approche dite déterministe, car la plupart (notamment les Texans) ne savent pas manipuler les probabilités. Chaque champ est un cas particulier et les probabilités sont subjectives. Une bonne estimation dépend de l'expérience de l'auteur et de sa motivation à s'améliorer en pratiquant le post-mortem de ses estimations passées dès qu'il a les résultats.

Calcul d'erreur

L'emploi d'ordinateurs permet d'obtenir de nombreuses décimales dans un calcul et la plupart des ingénieurs ne se donnent pas la peine de (ou ne savent pas) faire un calcul d'erreur. Comme toutes les données pétrolières ne sont pas fiables à moins de 10%, l'usage de plus de 3 chiffres significatifs (affirmant que la précision est de l'ordre de 1 pour mille) par un auteur montre son incompétence.

Erreurs tres souvent rencontrées

-Addition de $A=1000$ et de $B = 1$ donne un total de 1001.

Non, le total doit être donné comme 1000, car l'item B est tres inférieur a l'imprécision sur A (900 à 1100) et ne compte pas

-Conversion d'unité: Réserves de gaz = 100 G.m³ converties en 3,53 Tpc alors qu'il faut donner 4 Tpc (un seul chiffre significatif comme l'estimation originale)

-2-4-Pétrole et Economie

L'intensité énergétique est la consommation par unité de PIB. C'est un mauvais indicateur.

-**PIB:** Plus il y a de crime, de drogue, de pollution, d'accidents, de catastrophes naturelles, de déplétion des ressources naturelles, d'enfants envoyés à la crèche ou de vieillards à l'hospice (au lieu d'être soignés à la maison), plus d'emprunts à l'étranger, plus le PIB augmente. De nombreux indices existent pour mesurer pour un pays la richesse ou le bonheur (nombre de nids d'oiseaux au Royaume-Uni), mais il n'y a pas consensus, ni de recette miracle.

-**Coût marginal du baril:** Les économistes veulent que le prix du brut soit le **coût marginal**, alors qu'il est préférable qu'il soit **le coût de l'énergie alternative**. Malheureusement il n'y a pas d'alternative au pétrole quand on considère le volume nécessaire pour les 30 années à venir. Les économistes pensent que les réserves pétrolières dépendent essentiellement du prix et qu'il suffit d'augmenter le prix pour augmenter les réserves. Ceci peut être vrai pour les réserves minières (cuivre ou or) que l'on extrait à la pelle, mais pas pour le pétrole conventionnel qui coule spontanément dans les puits producteur.

-Impact du prix du pétrole sur l'économie nationale

Figure 17: France: facture énergétique et inflation

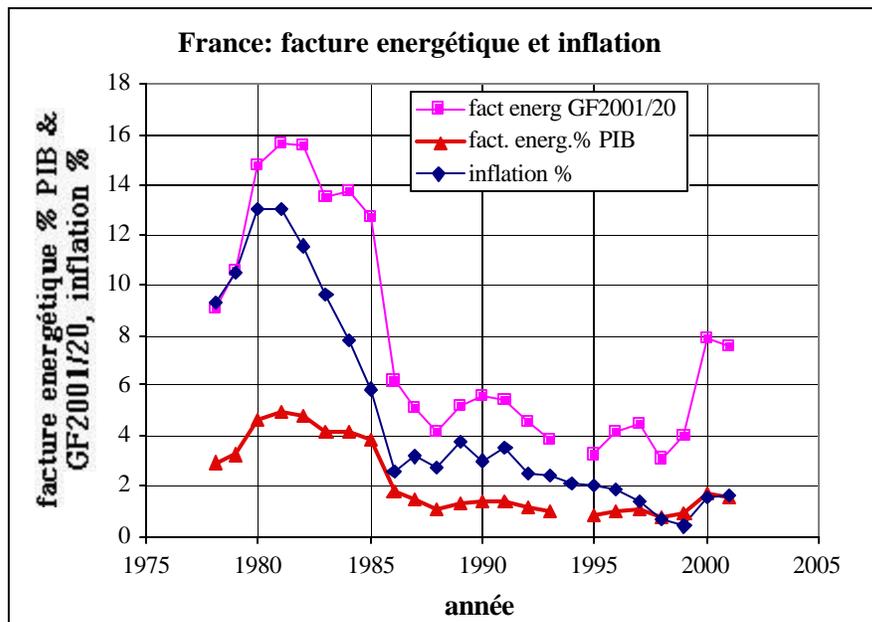
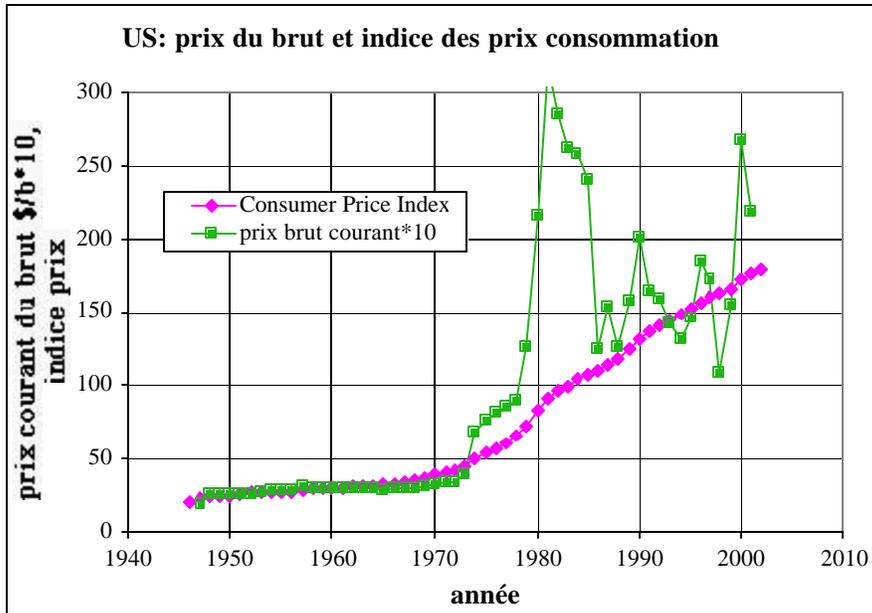
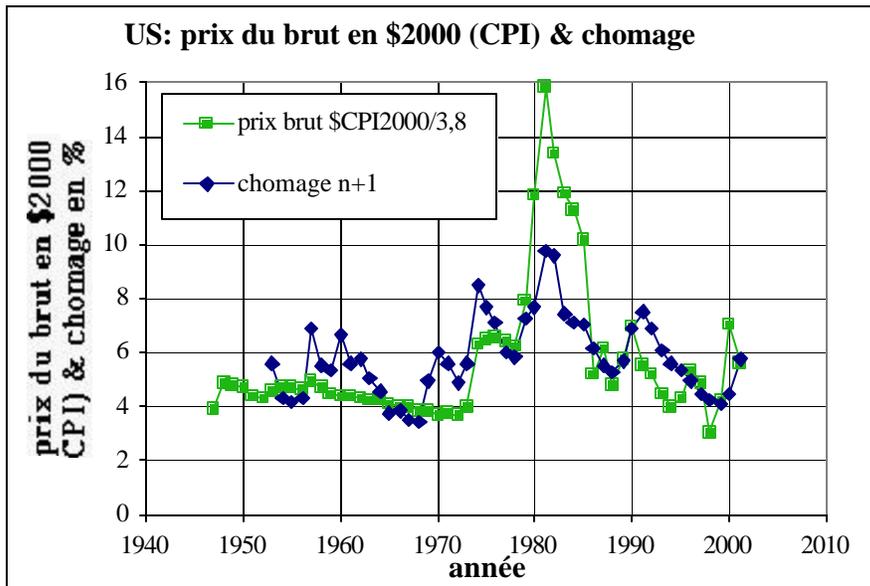


Figure 18: US: prix du brut et coût de la vie:



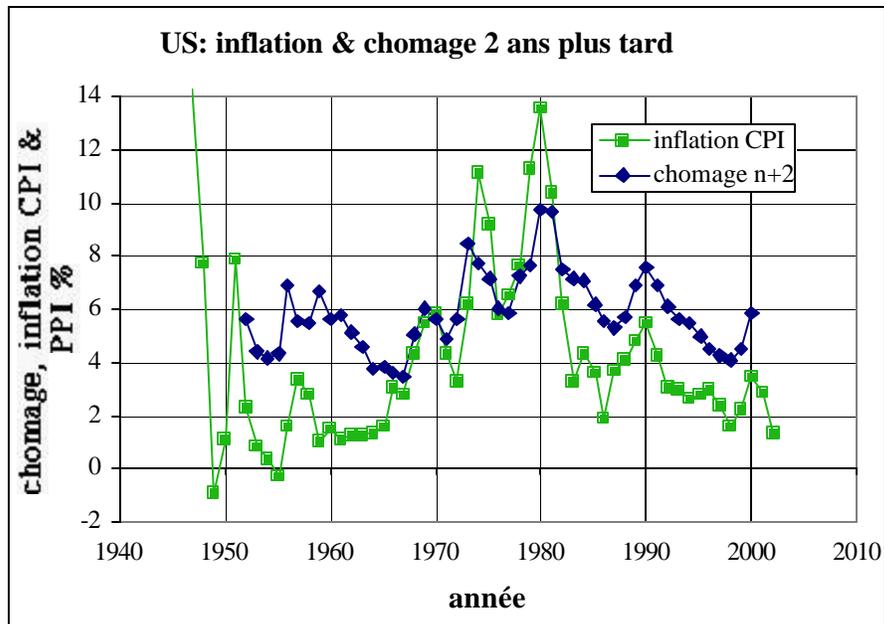
Ce graphique montre bien que le prix du brut est le facteur clé de l'inflation. Il est risible de parler aux US de l'inflation de base (core inflation) = inflation hors alimentation et énergie!

Figure 19: US: prix du brut et chômage



Jusqu'en 1973 le prix était le prix posté, sans réelle valeur avec la réalité!

Figure 20; US: inflation et chômage 2 ans après



Ceci est contraire à la soi-disante loi de Phillips.

-2-5-Réerves Ultimes

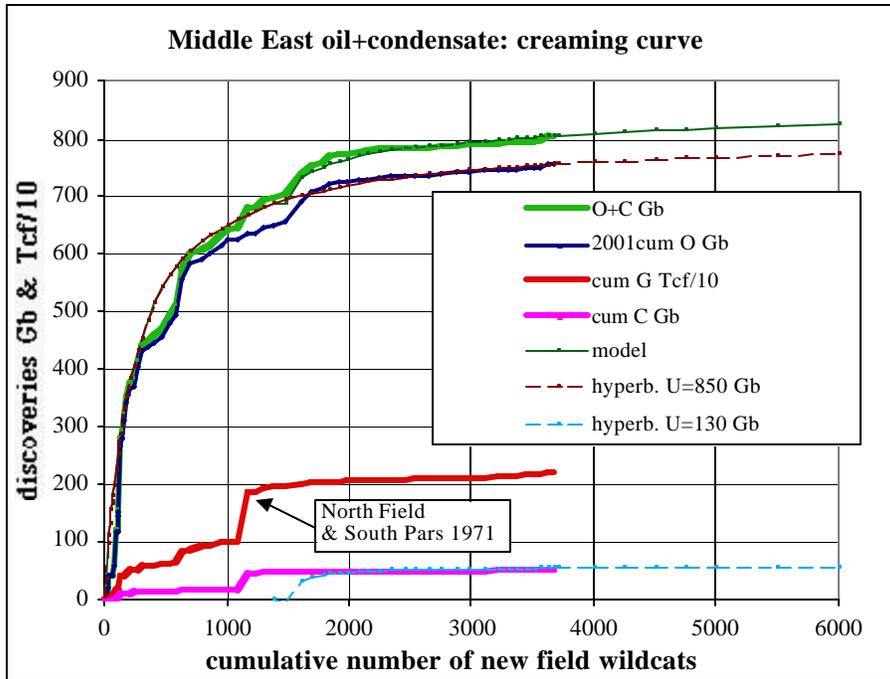
Les réserves ultimes, à savoir la quantité ultime qui sera produite à la fin de l'exploitation, peuvent être estimées de plusieurs façons:

- courbes d'écrémage des découvertes cumulées versus nombre cumulé de forages d'explorations
- courbes du pourcentage annuel/cumulé versus cumulé pour la production et les découvertes
- corrélation production et découvertes décalées

-Courbes d'écrémage:

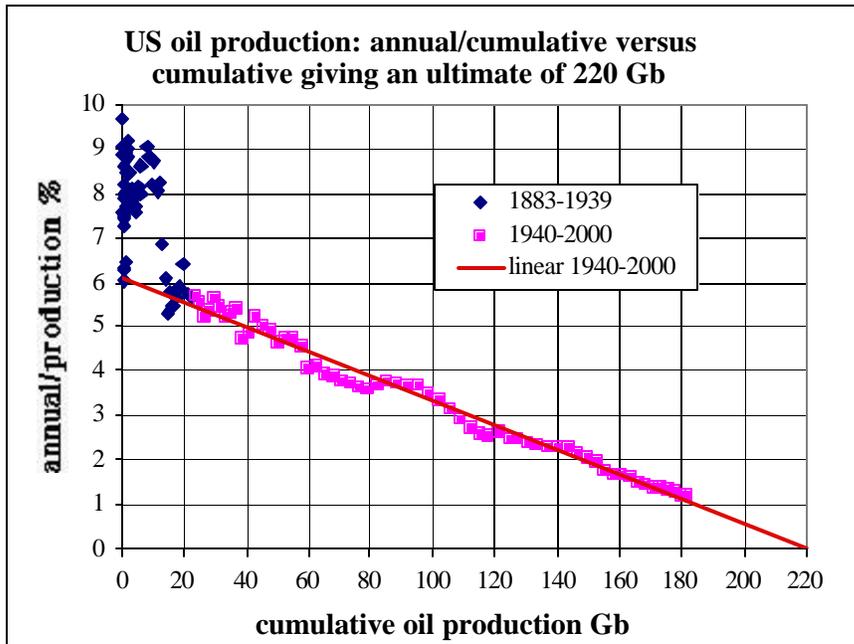
La courbe des découvertes cumulées en fonction du nombre cumulé de puits d'exploration (appelés wildcats) permet de s'affranchir des aléas temporels du stop and go de l'exploration au cours du temps.

Figure 48: Pour le Moyen Orient, on voit que, cette région est mature avec une efficacité décroissante, les quantités à découvrir ne sont pas très importantes par rapport à ce qui a été déjà découvert.



-Courbe % annuel/cumulé versus cumulé

Figure 23: Extrapolation pour les US: ultime pétrole = 220 Gb



Le rapport USGS (Geological Survey) 2000 donne un ultime de 330 Gb!

-2-6-Prévisions pétrolières

La plupart des économistes affirment qu'il n'y a aucune pénurie à court terme, puisque le rapport réserves restantes découvertes sur production (R/P) est de plus de 40 ans pour le pétrole et 70 ans pour le gaz

Figure 24: extrapolation du passé récent de R/P= 30 ans et 45 ans en comptant les découvertes futures.

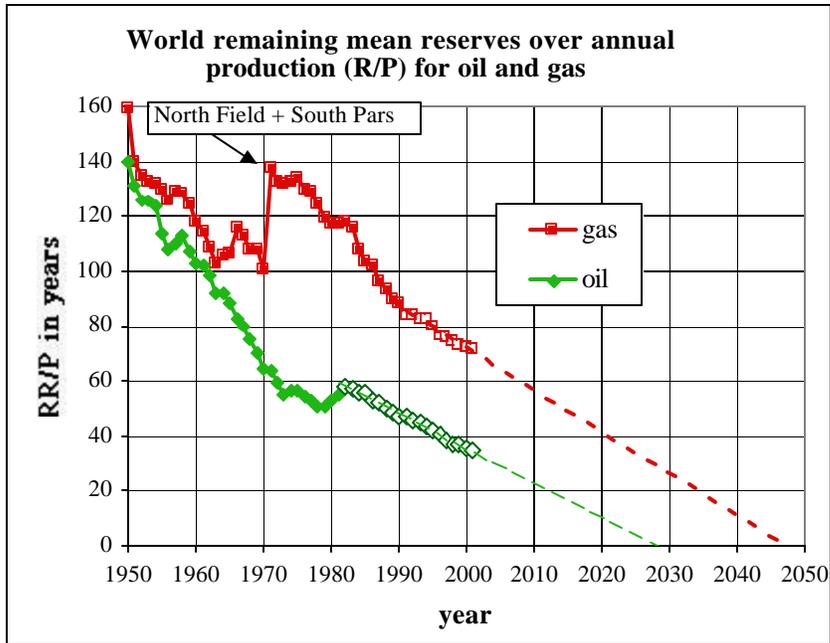


Figure 25: prévisions mondiales pétrole (U=3 Tb) et gaz (U=2 Tbeq) sans contrainte de la demande

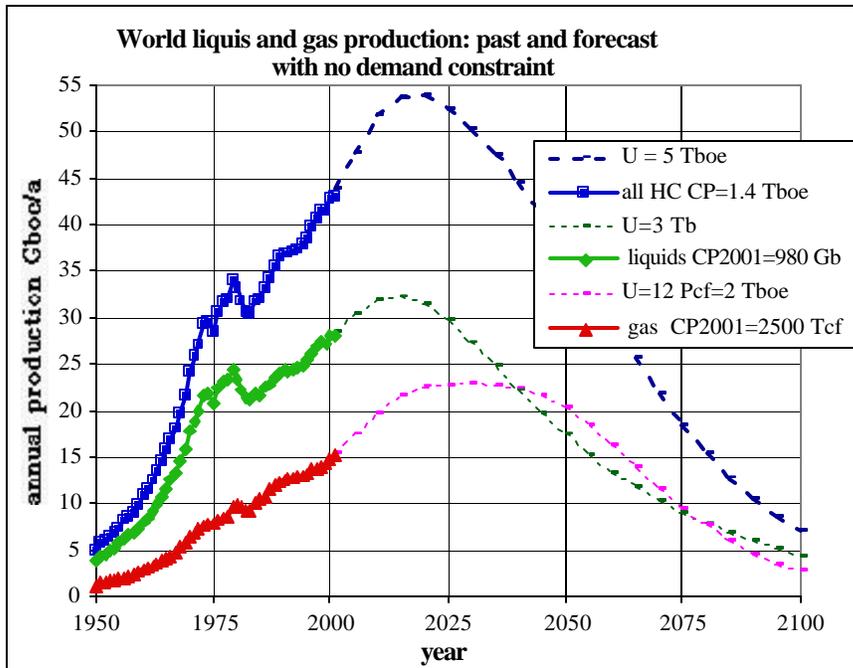


Figure 26: prévisions françaises (DGEMP 2002) pour la consommation de pétrole en pourcentage de la production de 2001

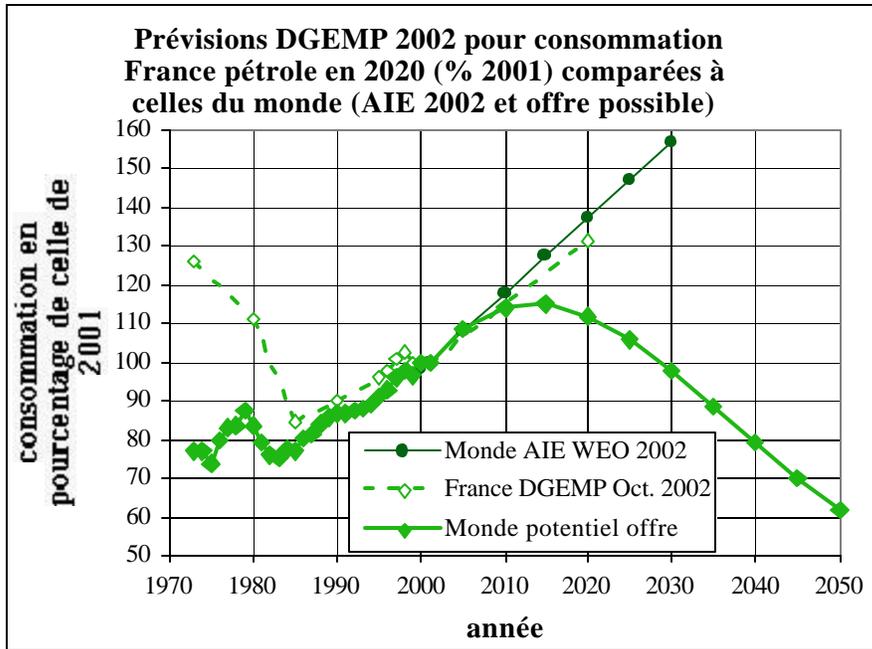


Figure 27: prévisions DGEMP pour le gaz semblent irréalistes dans le contexte mondial

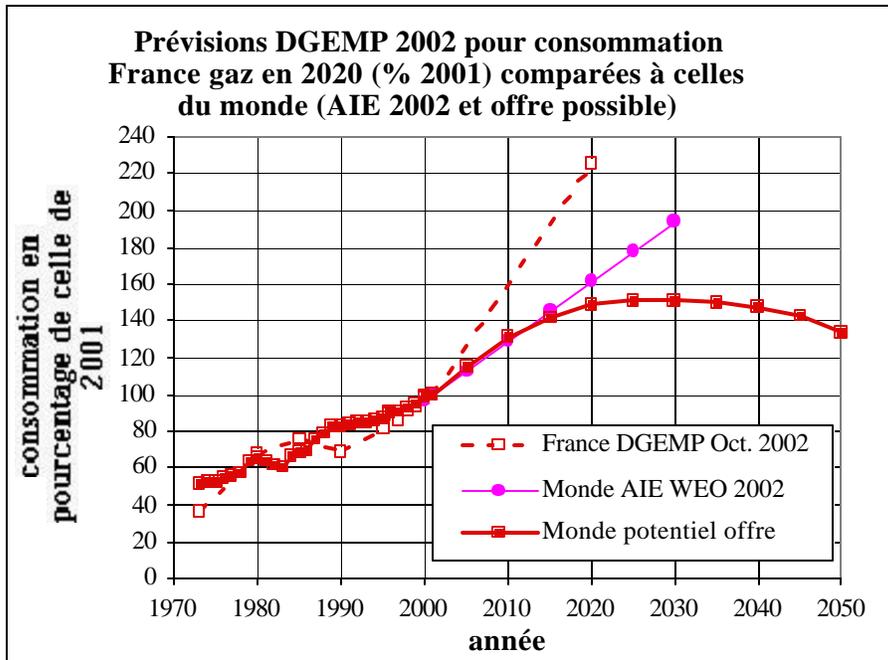


Figure 28: La meilleure prévision de production est de corrélérer la production annuelle avec les découvertes (moyennes) décalées d'un certain nombre d'années (ici 30 ans pour les US 48 états) et d'extrapoler la production

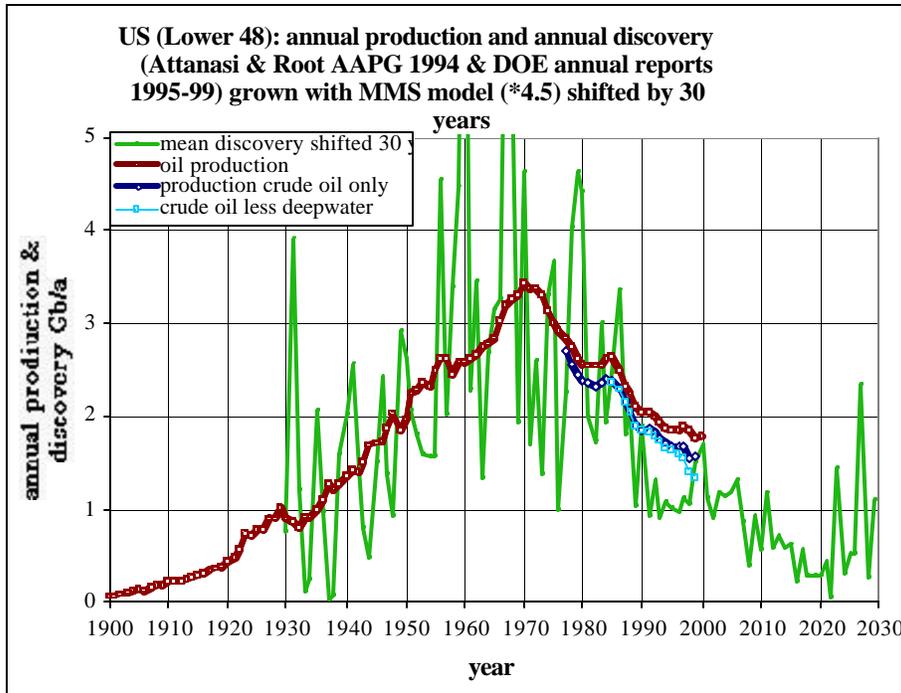


Figure 29: La comparaison des différentes prévisions (ou scénarios) entre les différents pétroliers montre une grande dispersion.

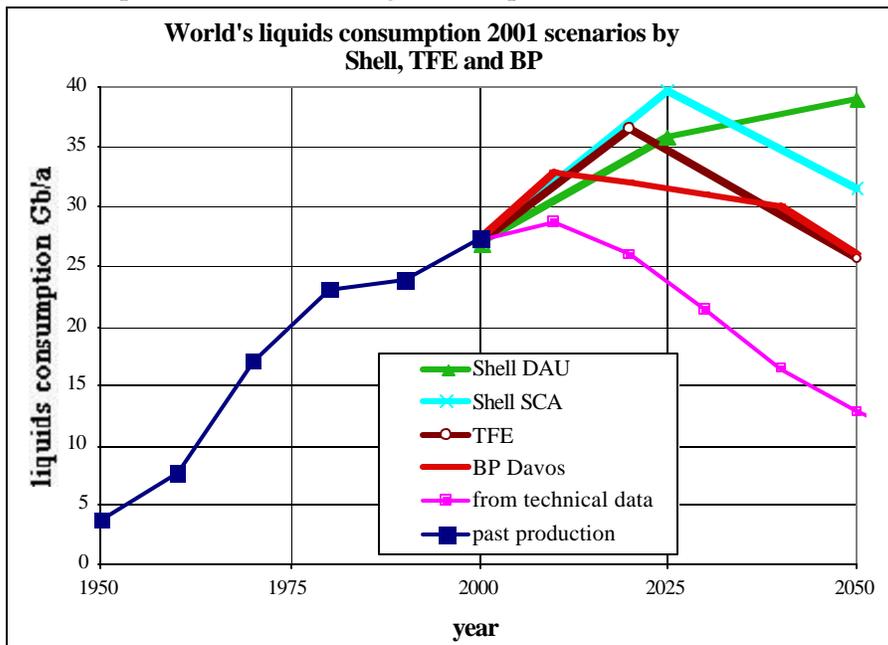


Figure 30: Shell suit les rêves de l'IIASA avec les hydrates océaniques pour SCA

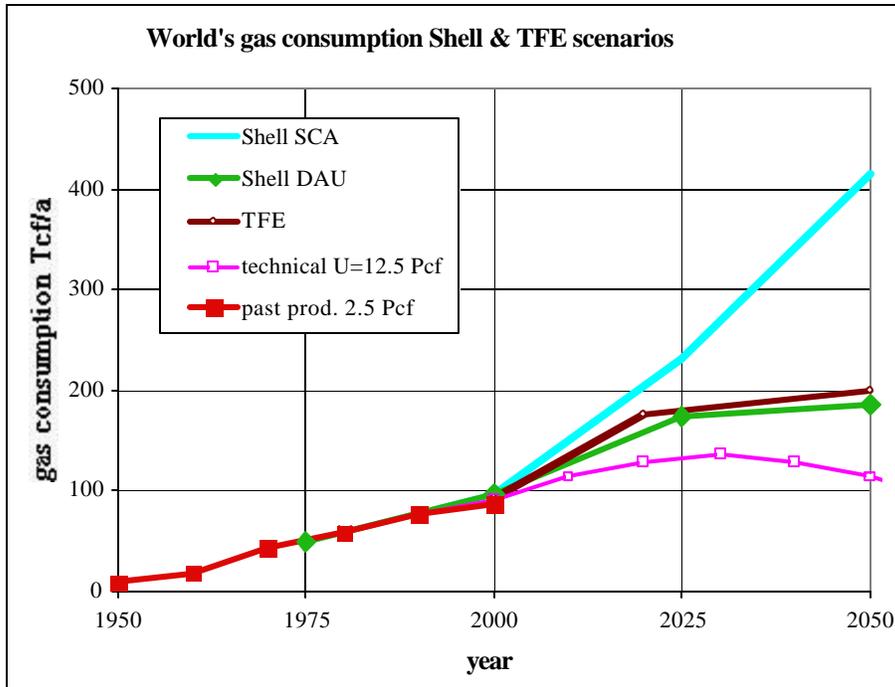
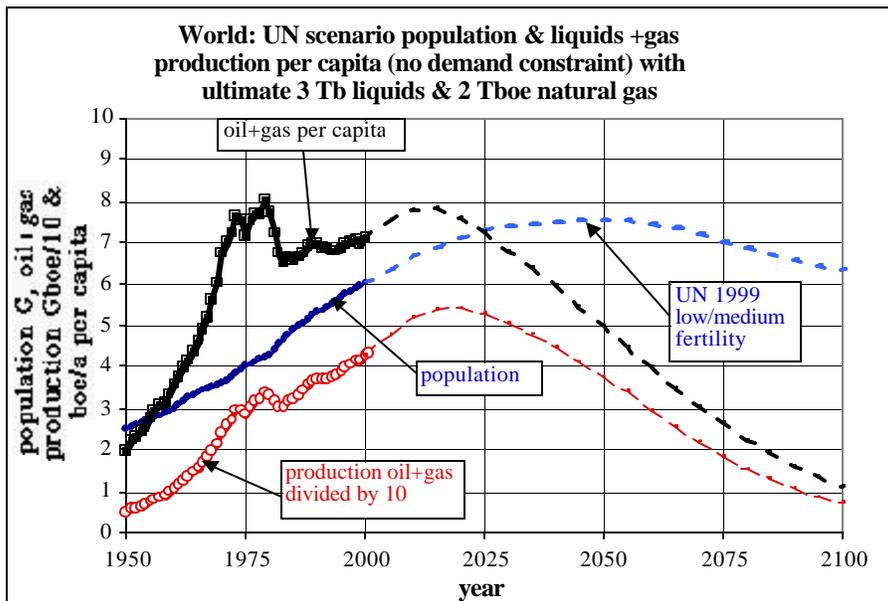


Figure : production pétrole et gaz par habitant: pic en 1979 et moindre en 2015



-2-7-Alternative ou substitut

On lit souvent de la part des économistes que l'age de pierre ne s'est pas terminé par manque de silex, et qu'il en sera de même de l'age du pétrole. La pierre taillée a été remplacée par le bronze et le fer.

Le problème du pétrole est qu'il n'y a pas d'alternative qui puisse le remplacer en quantité suffisante dans le court et moyen terme.

Tous les médias sont remplis des merveilles que va nous apporter l'hydrogène, abondant sur terre et qui brûle sans polluer en ne donnant que de l'eau.

Publicité dans la Recherche Octobre 2002: livre de Rifkin

"L'Economie Hydrogène" accompagné de:

"L'hydrogène c'est possible! **Une ressource énergétique révolutionnaire**"

Ce livre explique bien le problème des ressources fossiles (je fais partie des géologues mentionnés). Mais la partie sur l'hydrogène est très spéculative et discutable. **L'hydrogène n'est pas une ressource d'énergie, mais un vecteur comme l'électricité**

L'hydrogène n'est pas révolutionnaire, la première voiture à moteur à explosion était à l'hydrogène par Isaac de Rivaz en 1805. En 1957 un B-57 a volé avec un moteur à hydrogène liquide et en 1988 le Tupolev 155. Les US en 1996 ont produit 3 Tpc/a d'hydrogène dont 1,2 pour ammoniac (engrais), 1,1 pour les raffineries et 0,3 pour le méthanol. La production de méthane sec était de 19 Tpc/a, seulement 6 fois plus.

Les nouveautés que l'on nous promet demain sont plus que centena ires.

Le véhicule qui a pour la première fois dépassé les 100 km/h était une voiture électrique française en 1899. La pile à combustible date de 1839.

Usine Nouvelle 3/9 Octobre 2002 n°2841 p10

"Les prix des hydrocarbures sont en forte hausse. Les énergies renouvelables peuvent-elles prendre le relais du pétrole?"

Oui JEREMY RIFKIN président de la Foundation on Economic Trends (Washington), vient de publier "L'Economie hydrogène" (La Découverte).

"L'hydronet est pour demain".

"Installées dans les usines, les bureaux, les habitations, les automobiles, les piles à combustible deviendront des microcentrales contrôlées par leurs utilisateurs, à la fois producteurs et consommateurs. Ce mode de production répartie, associé aux dernières technologies informatiques reliant les microcentrales entre cités, va donner naissance à l'"hydronet". Ce sera la première solution énergétique vraiment démocratique de l'histoire humaine."

NON PIERRE-RENÉ BAUQUIS, ancien directeur stratégie-planification de Total, professeur à l'Ecole nationale supérieure du pétrole et des moteurs. **"Leur coût est dissuasif."**

"Les énergies renouvelables ne se développent que parce qu'elles sont massivement subventionnées. Par rapport à l'électricité classique, l'électricité éolienne coûte deux fois plus cher et l'électricité solaire cinq fois plus cher. . Selon certaines études, le déficit énergétique en 2050 devrait atteindre de 4 à 5 milliards de tonnes équivalent pétrole (Gtep). Aussi voit-on mal comment on pourra atteindre la fin du siècle en se passant du nucléaire. Certains experts estiment que les énergies renouvelables représenteront en 2050 les trois quarts des 4 à 5 Gtep d'énergies non fossiles, et le nucléaire un quart. Je penche pour la proportion inverse, mais ce n'est pas demain que nous aurons la solution"

-Economie d'énergie

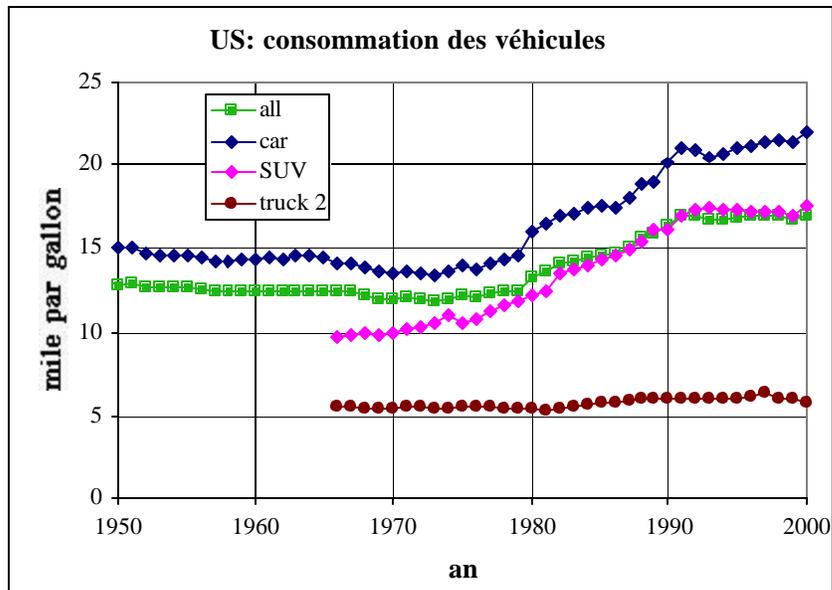
La meilleure solution est d'économiser l'énergie .

Les Américains utilisent 2 fois plus d'énergie que les Européens.

Améliorer l'efficacité des moteurs ne suffit pas, car suivant le **paradoxe de Jevons** (1865), l'économie réalisée est reportée sur un autre usage

Il faut des prix élevés pour changer les comportements comme en 1979.

Figure 32: amélioration des voitures seulement de 1975 à 1990



-2-8-Publication de données:

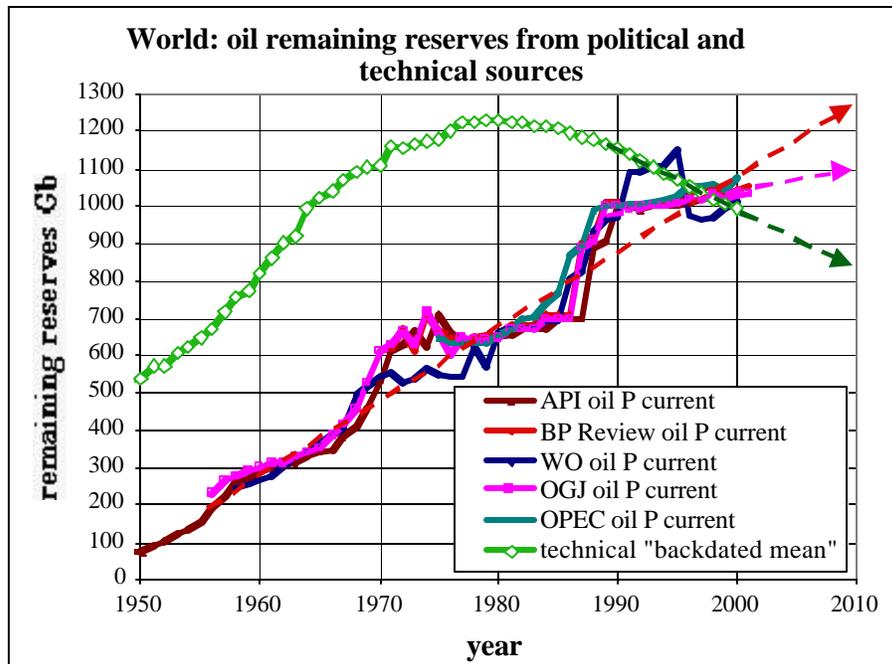
Publier des données est un acte politique et dépend de l'image que l'auteur veut donner. Dans la fourchette d'incertitude, il choisit la valeur qui lui convient, minimum s'il veut paraître pauvre ou maximum s'il veut paraître riche.

Tout le monde ment (parfois par omission) ou triche plus ou moins:

- les membres de l'OPEP qui ne respectent pas les quotas (+10%)
- les compagnies pour maintenir leur action (et leurs dirigeants leur stock options): Enron, Worldcom, Xerox,
- les gouvernements sur le chiffre du PIB, chômage (50% pour l'Allemagne?), de l'immigration, de la population et de la croissance future

Les compagnies américaines doivent suivre les règles de la SEC (Security and Exchange Commission) qui n'autorise que la publication des réserves dites prouvées (données financières) et qui empêche de tenir compte des réserves probables qui sont prises en compte dans le reste du monde hors US (données techniques).

Figure 33: L'extrapolation que vont les économistes des données politiques est opposée à celle des données techniques.



-Pétrole et décisions politiques

Il y a 30 ans, on transformait le **pétrole en protéine**: usine de BP à Lavera.

Maintenant on veut produire du **pétrole à partir des céréales!**

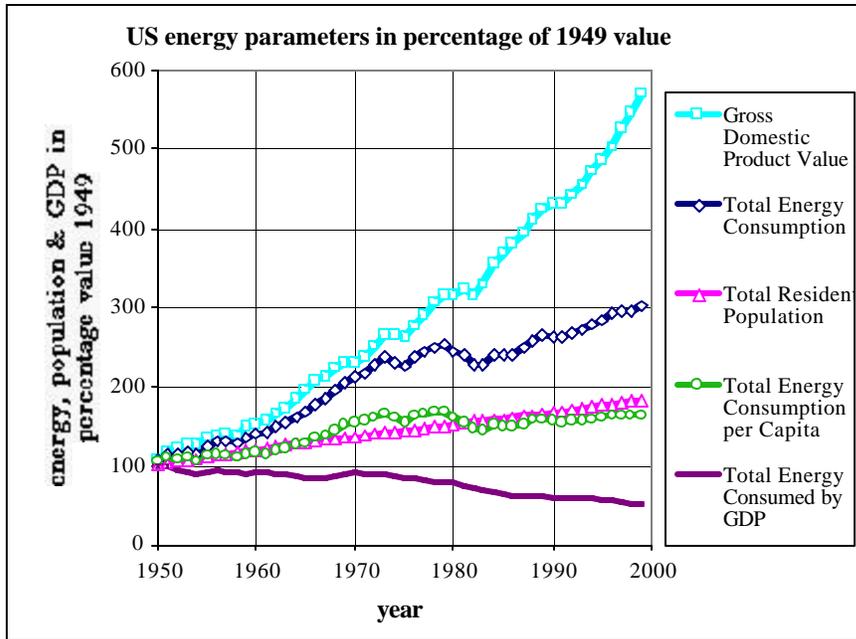
En 1970 on prévoyait en France pour 1990 une consommation de 200 Mt/a (100 Mt/a en 1970) et on a construit de nombreuses raffineries qu'on a démolies ensuite, car la consommation en 1990 a été de 80 Mt/a.

Le **projet de guerre de Bush en Irak** est en fait, non pas d'éliminer Saddam Hussein, mais **de contrôler la production pétrolière de tout le Moyen Orient** pour obtenir une production sans quota et des prix stables et bas de 10-13 \$/b. **Le plus grand problème pour les Etats-Unis n'est pas l'Irak, mais l'Arabie Saoudite** (succession proche du Roi Fahd).

-3-Economie:

Aux Etats-Unis, la destruction du World Trade Center, la guerre en Afghanistan et la préparation de celle en Irak fait augmenter le PIB. Le PIB est en plus corrigé par des indices manipulés: **facteur "hédonique" sur les dépenses informatiques**. Si on a dépensé 100 l'année dernière et si on dépense 100 cette année mais avec un ordinateur ou un logiciel deux fois plus rapide, on multiplie 100 par 2!

Figure 34



Le consommateur américain emprunte tous les jours plus de 1 G\$.

Figure 36: L'épargne américaine en pourcentage de son revenu qui était à 10 % en 1980 est descendu à 2 % en 2000.

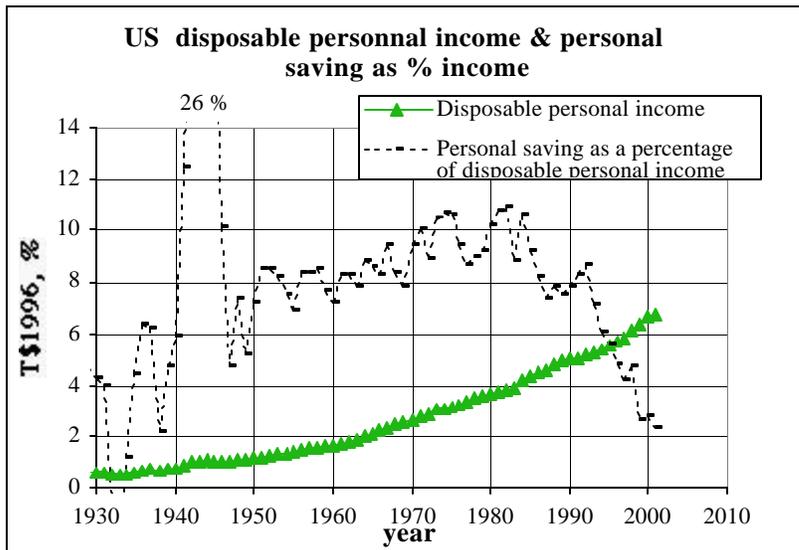
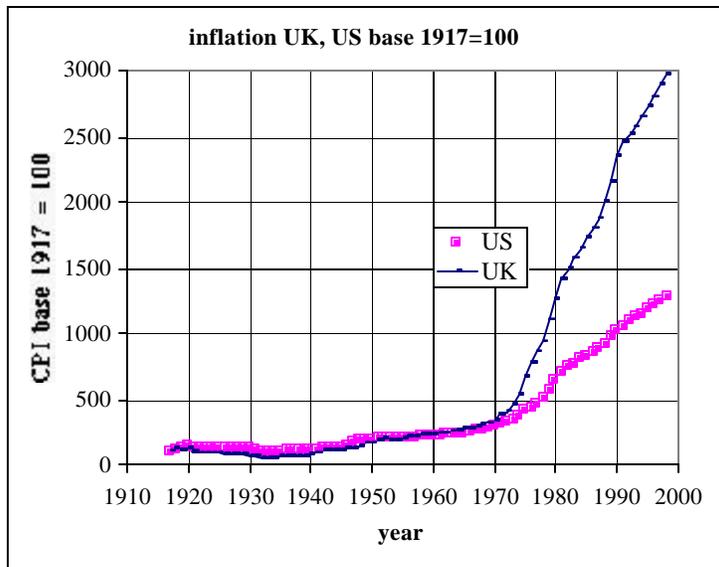


Figure 38: L'inflation au Royaume-Uni a divergé des Etats-Unis depuis depuis 1971, qui correspond à l'abandon pour le dollar de sa garantie en or .Le dollar papier et les bons du trésor américains ne sont garantis que par la "richesse" de l'Amérique. Mais peut-on être considéré comme riche longtemps quand on dépense plus que l'on gagne? Mais cela dure depuis 1960?. Est ce que cela peut continuer encore longtemps?



La croissance est présentée comme la solution miracle pour résoudre dans le futur tous les problèmes: sécurité sociale, retraite, etc.

Notre civilisation occidentale repose sur une culture de la croissance qui est considérée comme éternelle. Cette croissance a été rendue possible dans le passé grâce au pétrole bon marché. D'après Simmons le prix de fin 1998 10\$/b est dû à une fausse impression d'abondance de pétrole bon marché suite à l'apparition des « missing barrels » de l'AIE. Le monde est représenté comme étant inondé de pétrole dans la couverture de The Economist 6-15 Mars 1999:



Signes révélateurs d'un comportement anormalique :

- 1980s: miracle japonais: immobilier: Des Japonais achètent le Centre Rockfeller à New York:
- fin 1990s téléphone mobile: Vodafone achète une compagnie pour un coût de 10 000 F par abonne
- 1999: Internet: la capitalisation boursière d'Amazon est supérieure à celle de General Motors
- 1999: Alimentation: oignons venant de Tasmanie vendus en France dans les supermarchés (l'alimentation voyage en moyenne 2000 km)
- 1999: essence hors taxe est moins cher que l'eau en bouteille
- 1999 livre best seller: James Glassman "Dow 36 000 "

- 2000: élections présidentielles US: vote par carte perforée
- 2001: 11 septembre: Bush: "continuez à dépenser pour sauver les E-U"
- 2002: projet européen Galileo pour concurrencer le GPS américain

-4-Population

Le chiffre de la population est une donnée très incertaine (10-30 %), car politique et les recensements rares et peu fiables.

Figure 40: En 1990 les Nations Unis avaient prédit que l'augmentation globale culminerait en 1998, alors qu'en fait elle avait déjà culminé en 1988, et que l'augmentation en pourcentage a culminé en 1964

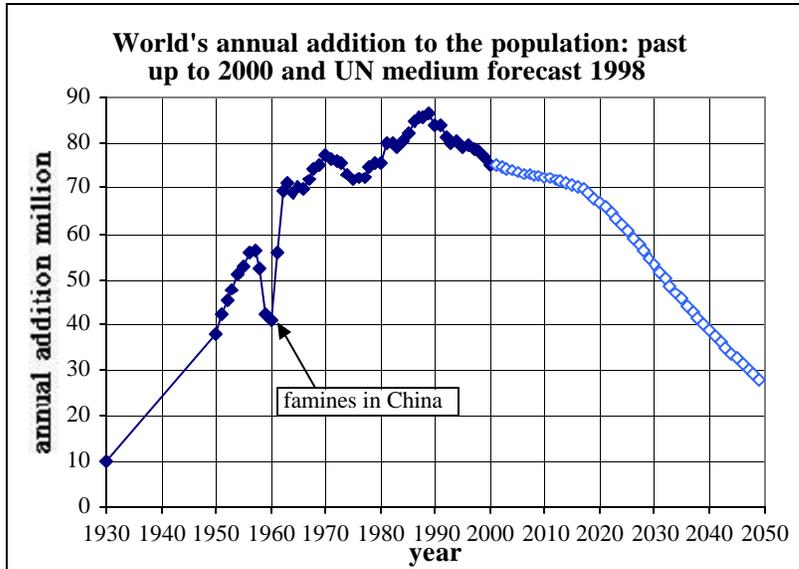


Figure 41; la population doit culminer vers 2040 suivant le trend actuel

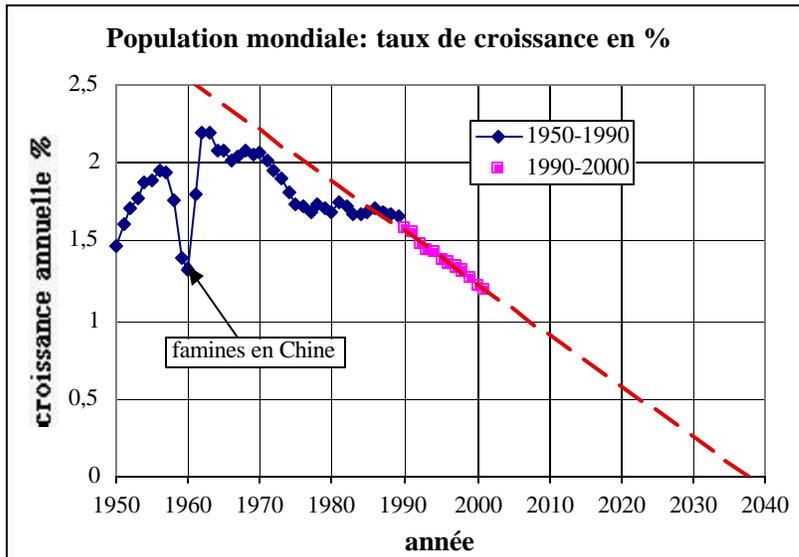
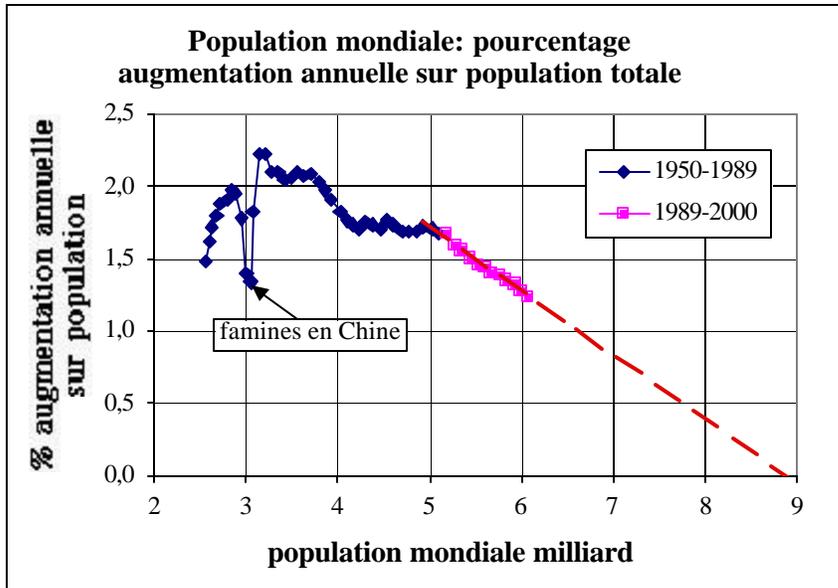


Figure 42: le pic de la population en 2040 doit être de 9 milliards, si le trend actuel continue (quid de la fertilité et du SIDA?)



Enquête auprès des jeunes: 40 % pensent que la population mondiale va dépasser 20 milliards

Figure 43: Bourgeois-Pichat directeur de l'INED en 1988 a modélisé la population mondiale avec deux cycles en forme de cloche

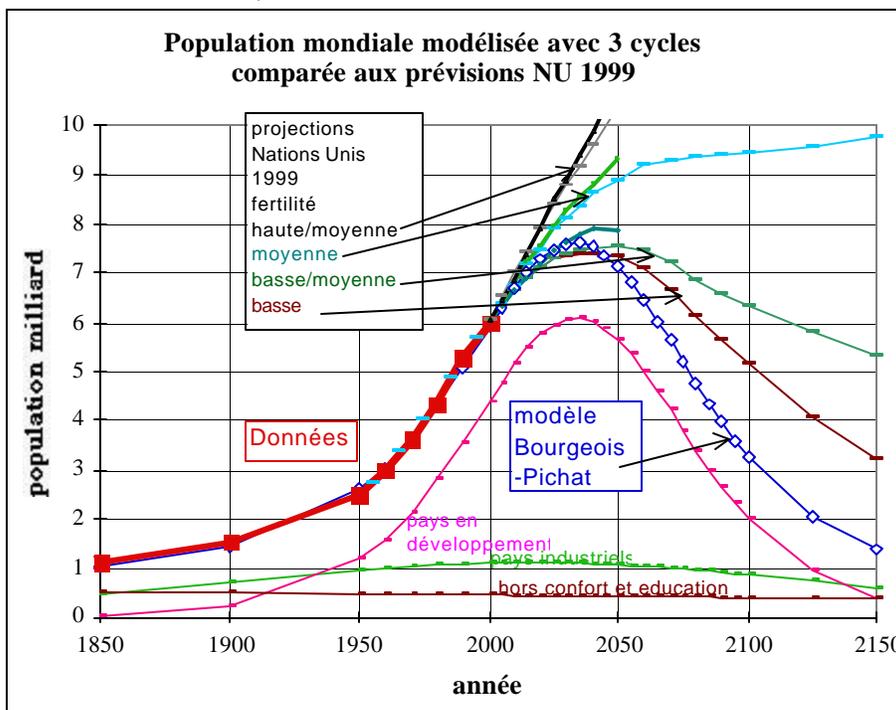


Figure 45: les prévisions de fécondité de l'USBC sont politiques

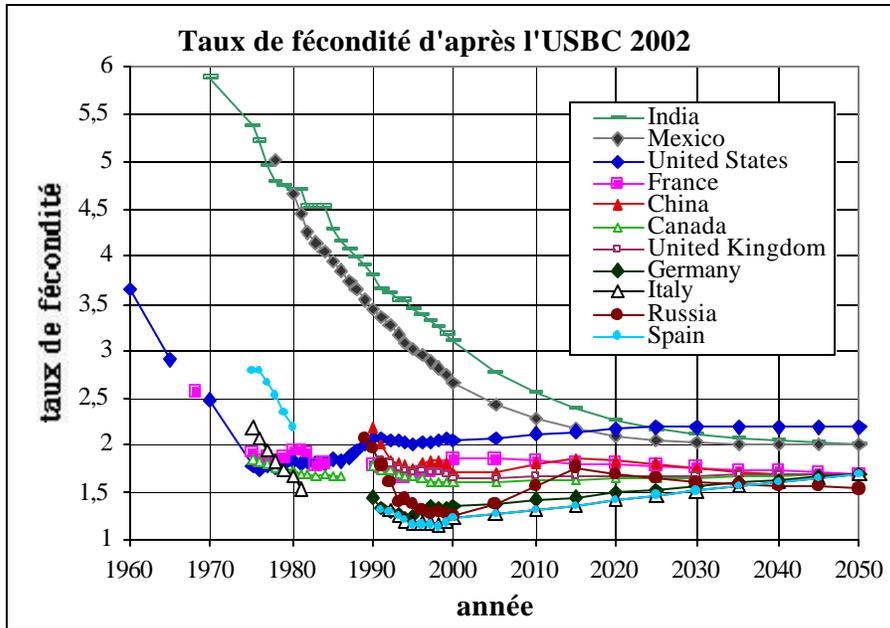
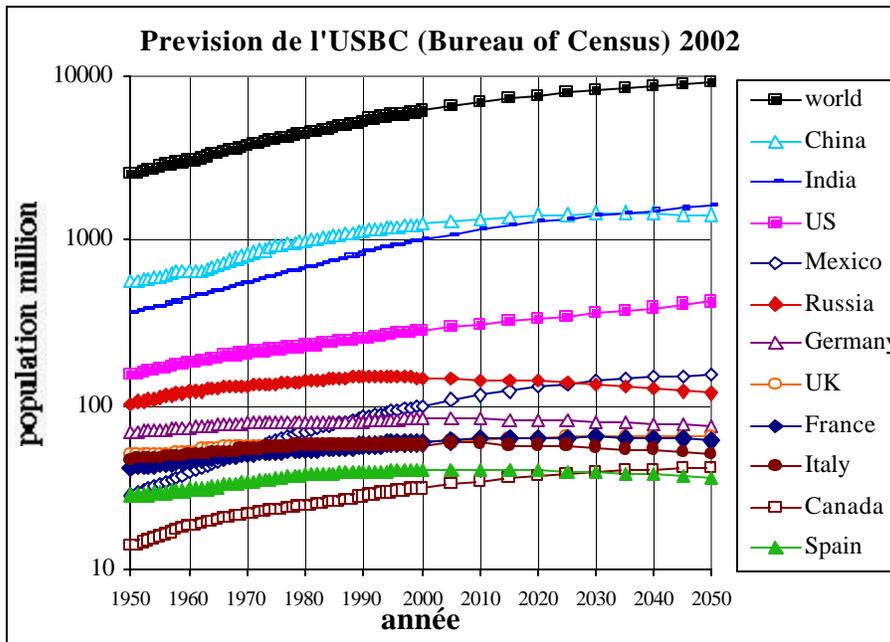


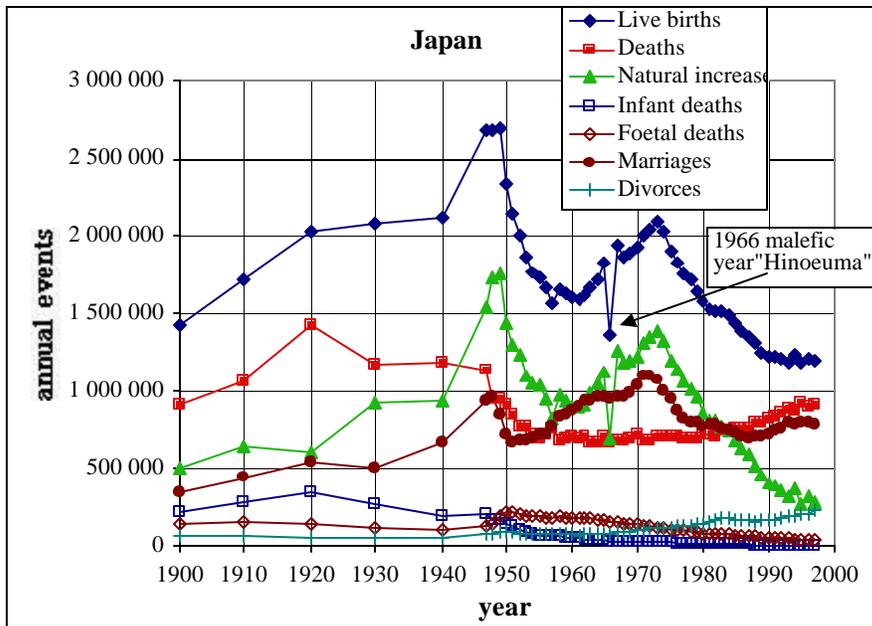
Figure 46: Les prévisions de l'USBC 2002 en échelle log pour comparer les taux de croissance. Les Etats-Unis sont prévus augmenter de 280 millions en 2000 à 400 en 2050?



Ces prévisions nous semblent bien politiques et peu crédibles.

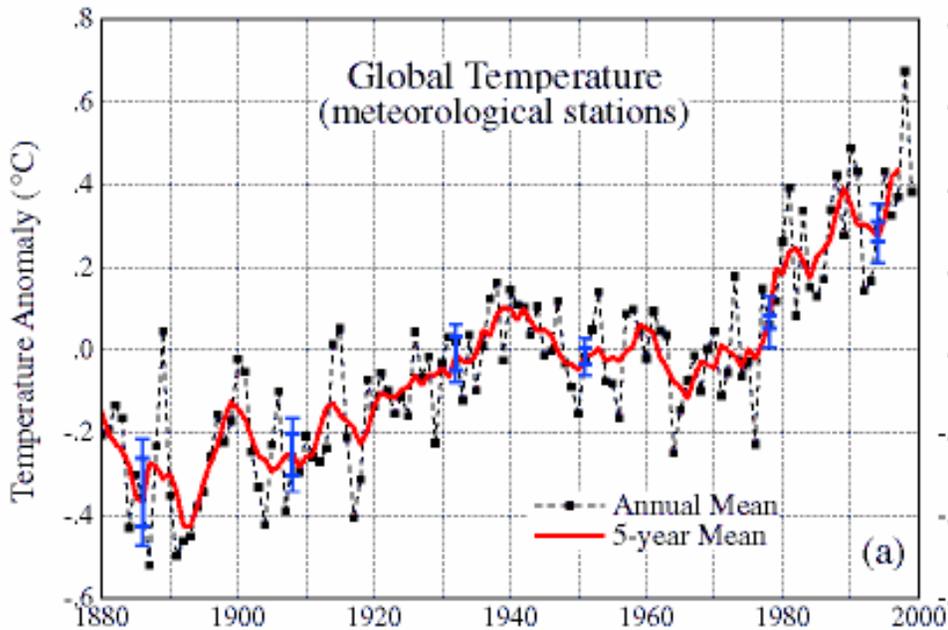
On peut voir sur les courbes des phénomènes comme les famines en Chine vers 1960 et comme le creux des natalités au Japon en 1966, année dite maléfique!

Figure 47: Le comportement humain est irrationnel.



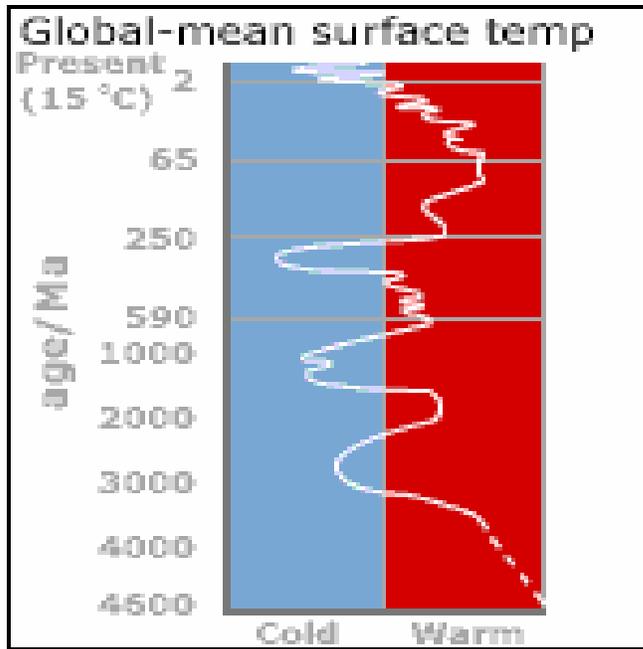
-5-Gaz a effet de serre et climat

Figure 48: en1970 on parlait de refroidissement global.



La moitié du carbone émis par l'homme disparaît, on ne sait pas où?

Figure 52: actuel = interglaciaire dans glaciation comme il y a 300 Ma



Les conclusions de l'IPCC (base des résolutions de Kyoto) sont basées en 2000 sur les hypothèses (40 scénarios) de consommation énergétique de l'IIASA, hypothèses très académiques sans peu de relation avec les réalités industrielles. Figure 53: consommation de gaz d'après IIASA qui prévoit un âge du méthane basé sur des ressources gigantesques d'hydrates de méthane dans les sédiments océaniques. La dernière estimation (Soloviev 2000) divise par 100 les estimations anciennes!

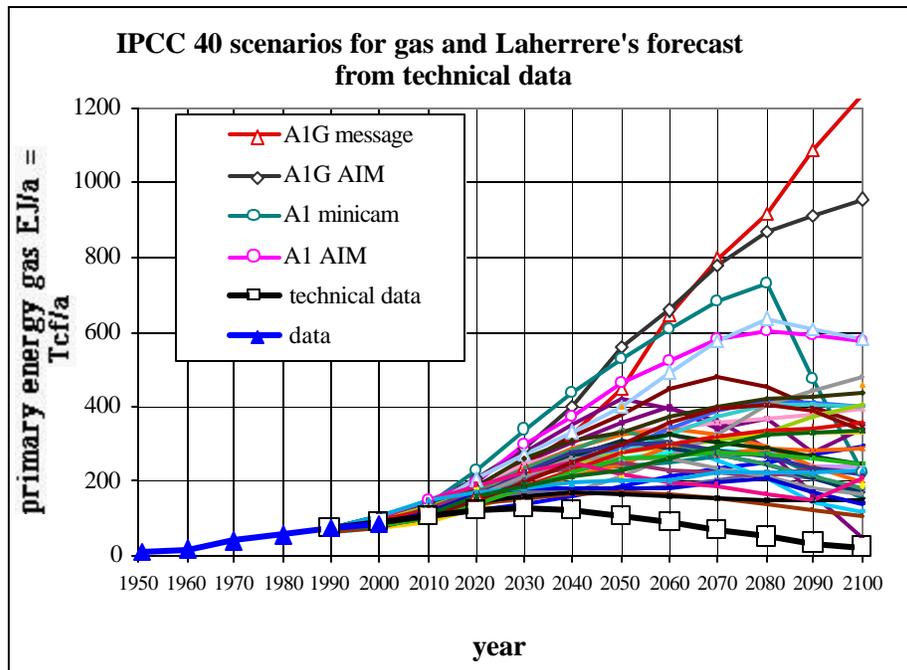
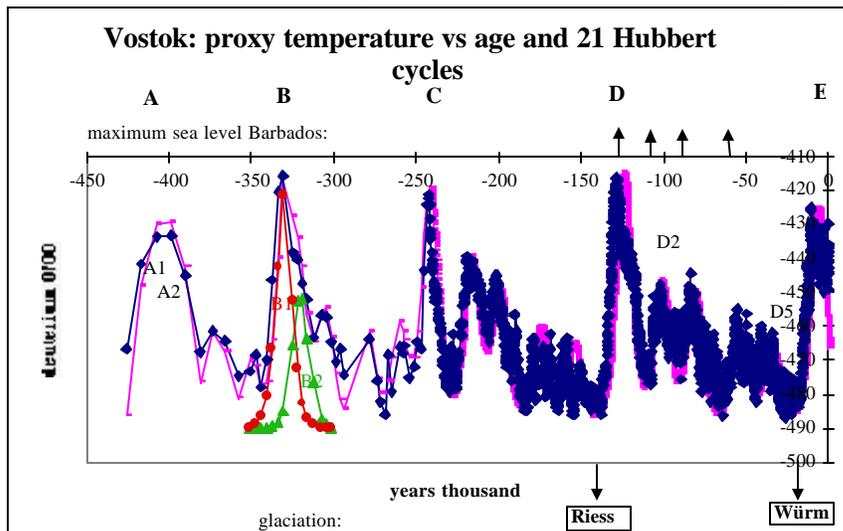
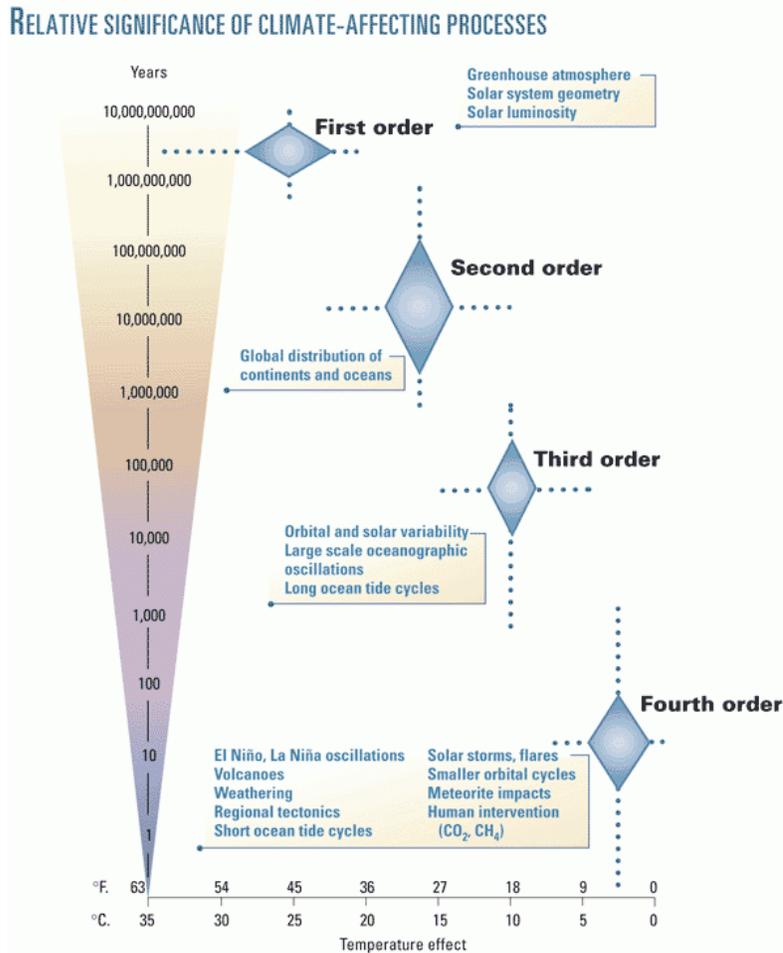


Figure 54: les émissions humaines sont du 4e ordre



En matière de climat, vouloir assurer la stabilité est illusoire, car le climat change constamment pour de multiples causes, prétendre le prédire à moyen terme (décennie) à travers des modèles semble bien utopique, comme la météo au delà de 8 jours.

Conclusions

-l'Univers est fini, mais sans limites

- les lois de la Nature sont simples, mais les évènements sont en grand nombre et leurs interactions complexes
 - le hasard règne partout (notamment pour nos gènes)
 - le monde est donc probabiliste, mais le maniement des probabilités (souvent subjectives) est complexe et demande des post-mortems peu utilisés
 - tout ce qui naît meurt et tout ce qui monte redescend, tout est cyclique
 - tout ce qui est publié sur des données incertaines avec un chiffre unique doit être décodé par la motivation de son auteur
 - l'ère du pétrole va culminer et décliner d'ici 20 ans; mais la production future proche peut être réduite, soit par la demande si crise économique, soit par l'offre si la demande est importante. Le prix sera sûrement chaotique.
 - l'ère du gaz suivra celle du pétrole avec une décennie ou deux de retard
 - l'ère de l'hydrogène est pour le moment un mythe, l'hydrogène industriel a surtout un passé médiocre et coûteux. L'hydrogène est un vecteur et peut être un intermédiaire pour un pétrole synthétique à partir du nucléaire.
 - l'ère nucléaire à venir est une nécessité, car le renouvelable ne pourra pas être le substitut en quantité du pétrole. Il faudra utiliser toutes les énergies.
 - la seule solution à l'épuisement des combustibles fossiles est les économies d'énergie. Il faudra changer les comportements, surtout des Américains (qui veulent imposer leur manière de vie). Pour cela il faut un prix élevé de l'énergie, comme en 1979.
- Un prix bas de l'énergie (but de la campagne de Bush au Moyen Orient) est la pire des solutions à court terme, qui pénalisera les générations futures. La culture de la croissance est une fuite en avant dangereuse et n'est pas la solution des problèmes actuels, tels que la retraite et la sécurité sociale, surtout dans les pays européens dont la population va décroître dans les prochaines décennies.
- les prévisions de la population ou du climat sont peu fiables, car les hypothèses de base et la modélisation très discutables.

Annexe:

Combien de solutions pour une distribution naturelle?

2, 4, 6, ?, ?, ?

rang: 1, 2, 3, n-2, n-1, n

valeur: 2, 4, 6, N-2, N-1, N

Il y a une quantité innombrable de solutions

Le rasoir d'Occam (1285-1349): le meilleur modèle est le plus simple

= complexité minimum = 2, 4, 6, 8, 10, , N=2n

en fait le plus simple est souvent faux:

La croissance permanente n'existe pas dans la Nature.

Une bactérie, qui double toutes les demi-heures, disposant de toutes les ressources nécessaires, occuperait le système solaire en une semaine et l'Univers en 11 jours!!
La série 2, 4, 6, ? a un début et croît, dans la Nature, elle doit passer par un pic et décliner.

Tout ce qui monte doit redescendre.

Tout ce qui naît doit mourir.

La réponse naturelle la plus simple (premier degré et coefficients <10) est multiple

2, 4, 6, 6, 0 $N = 3(N-1) - 3(N-2)$

2, 4, 6, 0 $N = 6(N-1) - 9(N-2)$

Claude Allégre le Point 1996: "Aujourd'hui, on extrait en moyenne 20 % ou 30 % du pétrole. **Avec l'imagerie sismique, on peut espérer, demain, extraire 80 % à 90 % d'un gisement**".

Aujourd'hui la moyenne est de près de 40%, variant de 3 à 80%, Ghawar (le plus grand champ au monde) doit produire 60% du pétrole en place. La sismique permet de guider le puits au bon endroit, mais pas d'améliorer le réservoir.

Les coûts des projets importants sont toujours sous-estimés afin de faire passer plus facilement leur adoption. Ceci est bien connu avec **la loi de McNamara** (ancien secrétaire d'Etat et patron de la NASA): Pour un projet nouveau, le coût réel et le temps réel par rapport aux prévisions originales sont dans un rapport de pi (3,14) et e (nombre d'Euler 2,72) (soit environ 3 fois plus).

Les prévisions de fécondité des Nations Unis montre le classement des taux les plus élevés et les plus bas aujourd'hui et en 2050

UN 2000-Table 10.					
2000-2005			2045-2050		
	Country	fertility		Country	fertility
A. Highest total fertility					
1.	Niger	8	1.	Niger	3,82
2.	Yemen	7,6	2.	Yemen	3,35
3.	Somalia	7,25	3.	Somalia	3,27
4.	Angola	7,2	4.	Angola	3,26
5.	Uganda	7,1	5.	Uganda	2,85
6.	Mali	7	6.	Mali	2,85
7.	Afghanistan	6,8	7.	Afghanistan	2,82
8.	Burkina Faso	6,8	8.	Burkina Faso	2,82
9.	Burundi	6,8	9.	Burundi	2,81
10.	Liberia	6,8	10.	Liberia	2,81
B. Lowest total fertility					
1.	Latvia	1,1	1.	Germany	1,61
2.	Armenia	1,1	2.	Italy	1,61
3.	Bulgaria	1,1	3.	Spain	1,64
4.	Macao	1,1	4.	Austria	1,65
5.	Ukraine	1,1	5.	Bosnia & Herzegovina	1,7
6.	Spain	1,13	6.	Channel Isl.	1,7
7.	Slovenia	1,14	7.	Hong Kong	1,7
8.	Russian Federat.	1,14	8.	Macao	1,7
9.	Czech Republic	1,16	9.	Slovakia	1,7
10.	Hong Kong	1,17	10.	Ukraine	1,7
	WORLD	2,68		WORLD	2,15

Livres recommandés:

- Alain Perrodon 1999 "Quel pétrole demain ?" Editions Technip
- Colin Campbell 1997 "The coming oil crisis" Multiscience Publishing co
- Walter Youngquist 1997 "Geodesinies –the inevitable control of earth resources over nations and individuals" National Book Company Portland

Article souvent cité dans les universités américaines et agences fédérales:

-Campbell C.J, Laherrère J.H. 1998 "The end of cheap oil" Scientific American
March p80-85
traduction:

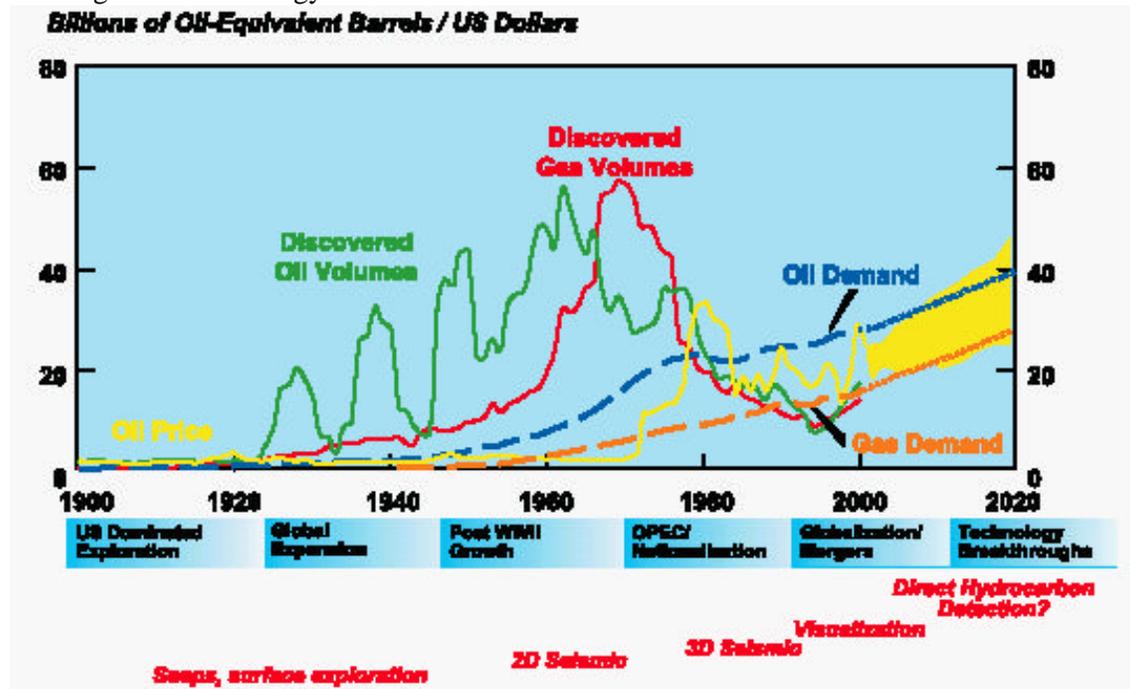
-Campbell C.J., Laherrère J.H. 1998 "La fin du pétrole bon marche" Pour la Science
Mai p30-36

Annexe:

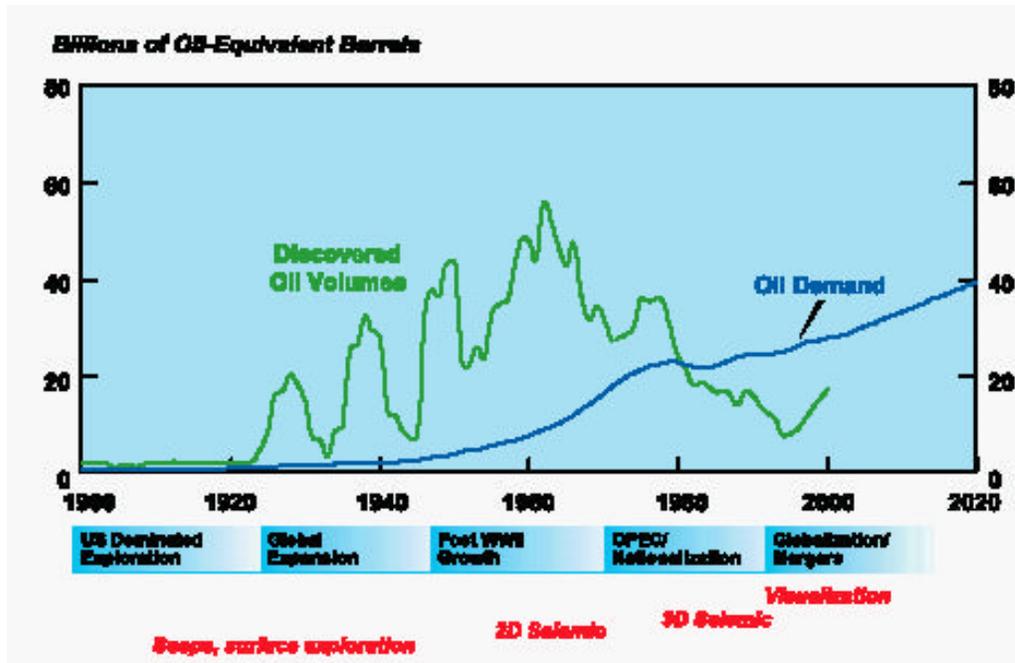
Decouverte et production d'apres Exxon

http://www.worldenergysource.com/articles/pdf/longwell_WE_v5n3.pdf

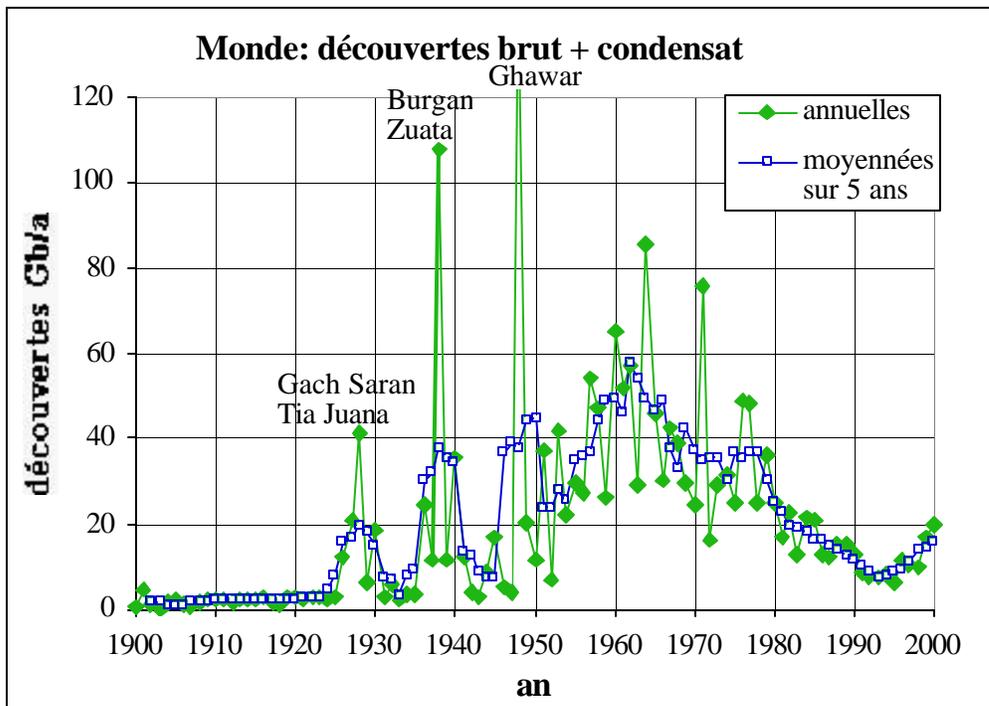
Longwell Exxon-Mobil "The future of the oil and gas industry: past approaches, new challenges" World Energy vol5 n°3 2002



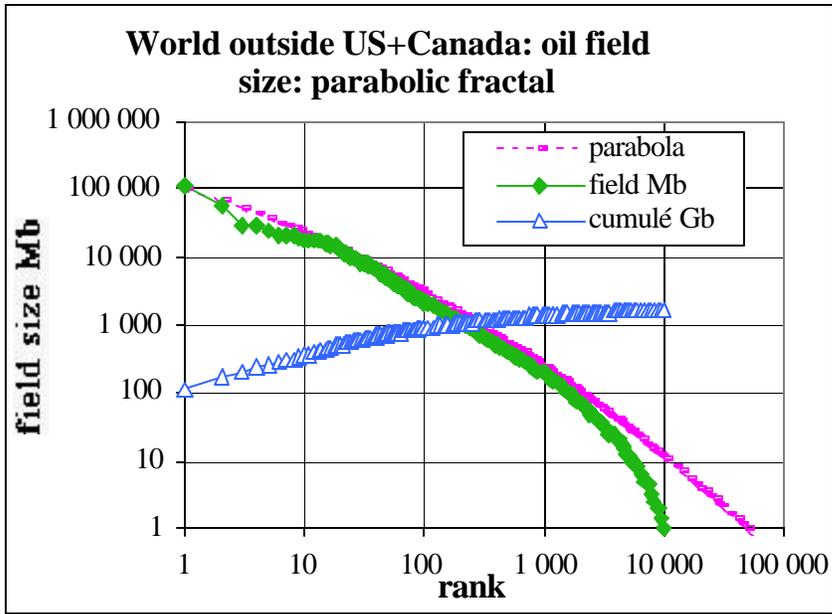
Graphique Exxon-Mobil pour le pétrole



D'après les données des champs (35 000 US + 20 000 reste du monde): donnée annuelle et moyenne: cycle ou événement exceptionnel?



Monde hors US+Canada:
Distribution de la taille des champs huile+condensat



En pourcentage du nombre de champs:

