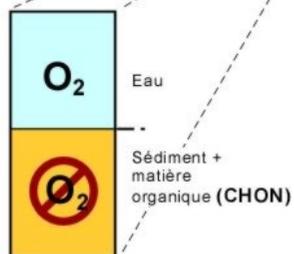
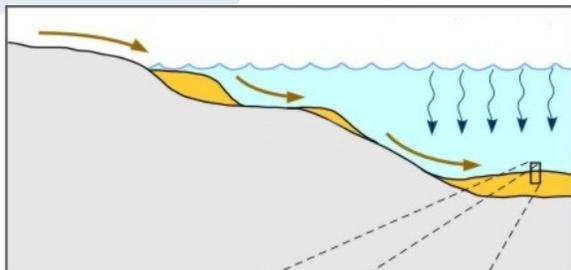




# Pétrole Le début de la fin

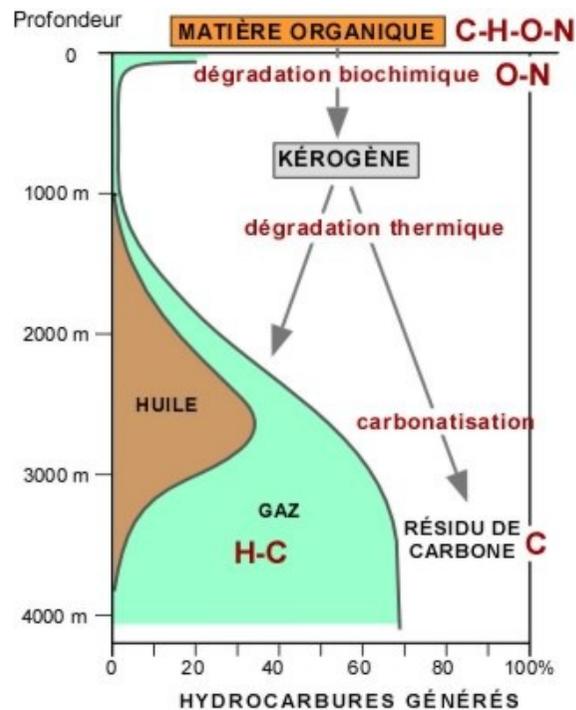
## Sédimentation



Des sédiments provenant de l'**érosion des continents** et des sédiments organiques issus de la **couche de plancton** s'accumulent dans un **environnement pauvre en oxygène**. La matière organique, composée de carbone, hydrogène, oxygène et azote (CHON), y est protégée de l'oxydation.

## Le pétrole, huile de pierre

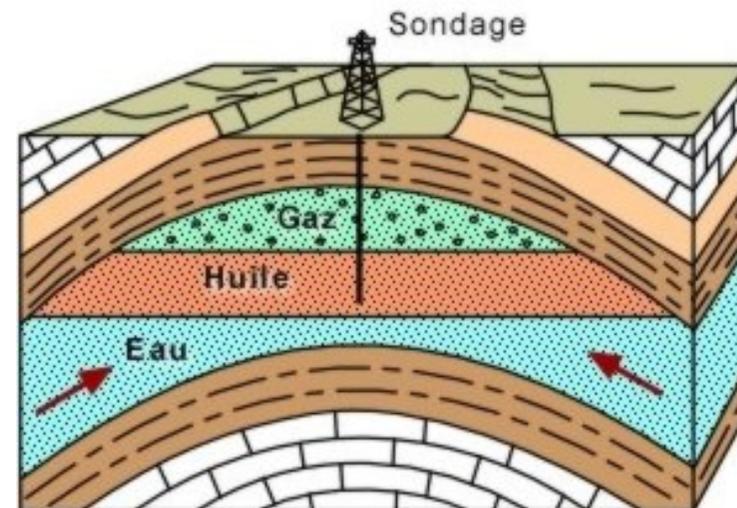
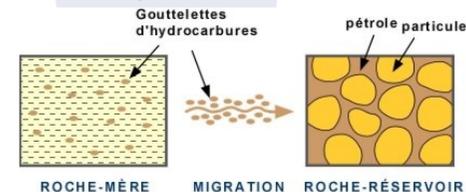
Le pétrole est une **roche liquide** formée par la transformation de minuscules organismes végétaux et animaux marins mêlés à de la boue et du sable à l'abri de l'air.



## Transformation

Jusqu'à **1000 m**, c'est la **dégradation biochimique** (par les bactéries) qui prédomine : **azote et oxygène sont éliminés. Carbone et hydrogène s'unissent** en de nouvelles molécules, les *hydrocarbures*. Une des premières à se former est le CH<sub>4</sub>, le méthane (ou gaz naturel). A mesure de l'empilement des sédiments, les molécules d'hydrocarbures s'enfouissent dans le sol. Elles subissent une **dégradation thermique** et, suivant la profondeur, donnent lieu à la formation de plus ou moins d'**huile** ou de **gaz**. Entre **2000 et 3000 m**, la production d'huile est élevée. Ensuite, après **2500 m**, le pourcentage de gaz formé s'élève et devient important entre **3000 et 4000 m**. Les hydrocarbures non transformés en huile ou en gaz forment des **résidus de carbone**.

## Migration

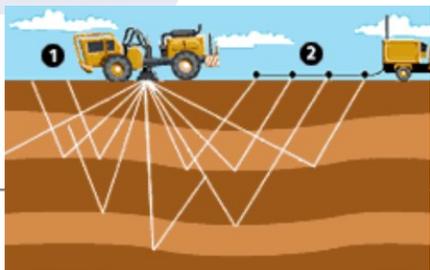


Gaz, huile et eau **remontent au travers des roches perméables** jusqu'à ce qu'ils rencontrent une roche imperméable. Ils se trouvent alors **piégés** de différentes manières où ils se répartissent en fonction de leur densité.

## La quête de l'Or noir

L'industrie pétrolière se divise en 2 filières : « **amont** » (prospection, extraction) et « **aval** » (raffinage, distribution).

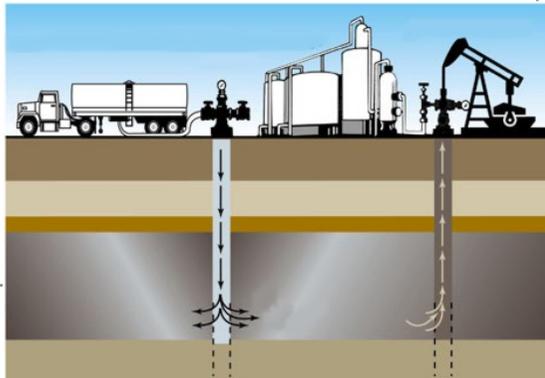
### Prospection



Pour rechercher des gisements, on étudie les structures géologiques qui pourraient contenir des accumulations d'hydrocarbures liquides et gazeux exploitables. La méthode généralement utilisée est une **méthode sismique**, qui consiste à envoyer des ondes sonores depuis la surface (1) et à analyser les ondes réfléchies sur les roches du sous-sol (2) pour déterminer leur nature. On a ainsi une idée sur la **possibilité de présence de pétrole et de gaz naturel**, qu'on vérifie en réalisant un forage.

### Extraction

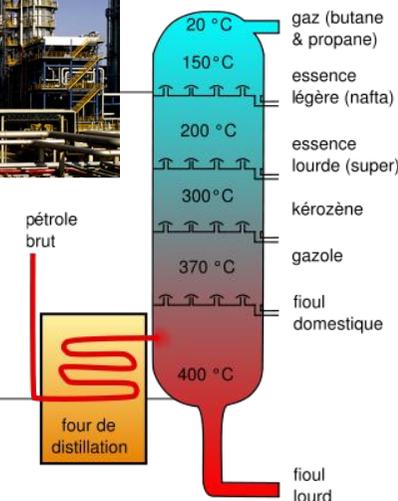
Les puits de forage utilisés pour la détection du pétrole servent également à son extraction. **Au début de l'extraction, le pétrole jaillit naturellement** ou est pompé artificiellement (extraction primaire). Lorsque la pression naturelle est épuisée ou insuffisante, **des techniques artificielles peuvent être utilisées pour l'extraire plus rapidement** : on injecte de l'eau ou du gaz pour déplacer le pétrole prisonnier de la roche poreuse (extraction secondaire). L'extraction tertiaire va encore plus loin et fait appel à des méthodes thermiques (injection de vapeur pour réchauffer le pétrole brut et réduire sa viscosité, ce qui le rend plus facile à pomper), des méthodes chimiques (recours à des détergents qui lavent littéralement l'huile de la roche), ou s'appuyant sur un mélange d'huiles plus légères dans les réservoirs profonds.



### Raffinage



Mélange de milliers d'hydrocarbures, de résidus solides et d'eau, le pétrole brut doit être traité par plusieurs procédés pour en extraire le maximum de produits utiles. Le raffinage consiste à extraire l'eau et les solides du pétrole brut, ainsi qu'à séparer et traiter les hydrocarbures.



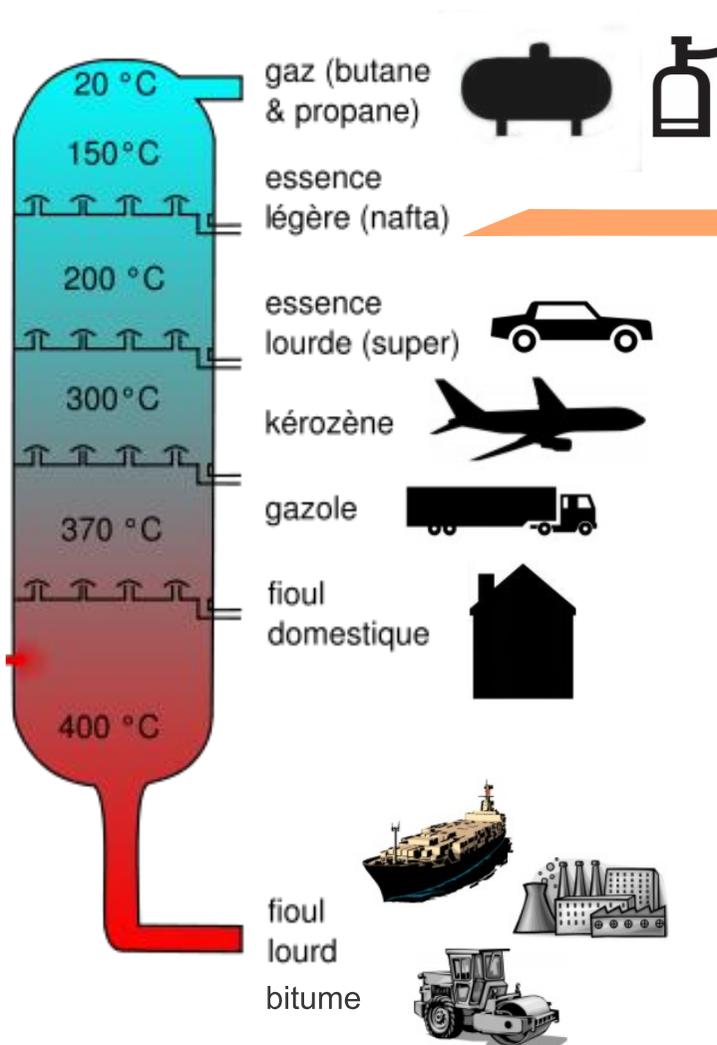
### Distribution

Le transport du pétrole, tant le brut que les produits raffinés, utilise principalement les pétroliers et les oléoducs pour les grandes distances et les volumes importants. Le transport par chemin de fer, par barge en eau douce et par camion intervient surtout pour la distribution finale des produits. C'est un secteur économique important : les pétroliers représentent environ 35% du tonnage de la marine marchande mondiale.



## Les produits du pétrole et du gaz

Pétrole et gaz sont essentiels pour le secteur du **transport** (auto, avion, bateau, revêtement des routes,...), de **l'alimentation** (engrais, agriculture,...), de **l'énergie** (chauffage, industrie,...) et des **biens de consommation** (matières plastiques, cosmétiques, fibres synthétiques, ...). Synonymes - pour l'instant - d'énergie et de matière première abondantes et bon marché, ils sont donc un pilier de notre économie.



### Pétrochimie

On peut utiliser des composés chimiques de base issus du pétrole pour **fabriquer d'autres composés synthétiques**, qui peuvent exister ou non dans la nature. Le gaz naturel fournit également des matières premières pour la pétrochimie.

Parmi les produits dérivés du pétrole et du gaz, on retrouve :

- des matières plastiques
- des alcools
- des cosmétiques
- des médicaments
- des engrais
- des solvants
- des résines
- des fibres synthétiques
- des détergents
- des adhésifs
- etc.

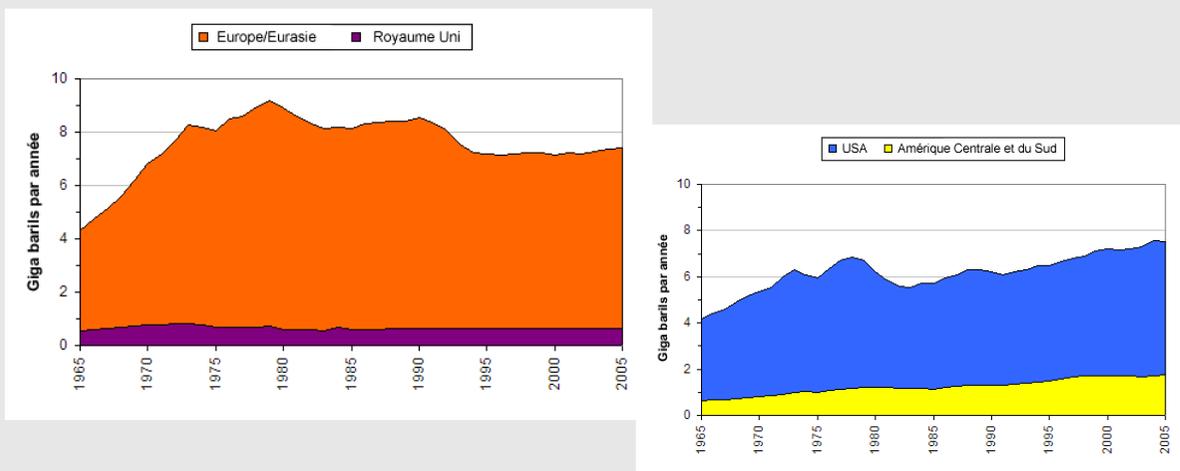


## Consommation mondiale

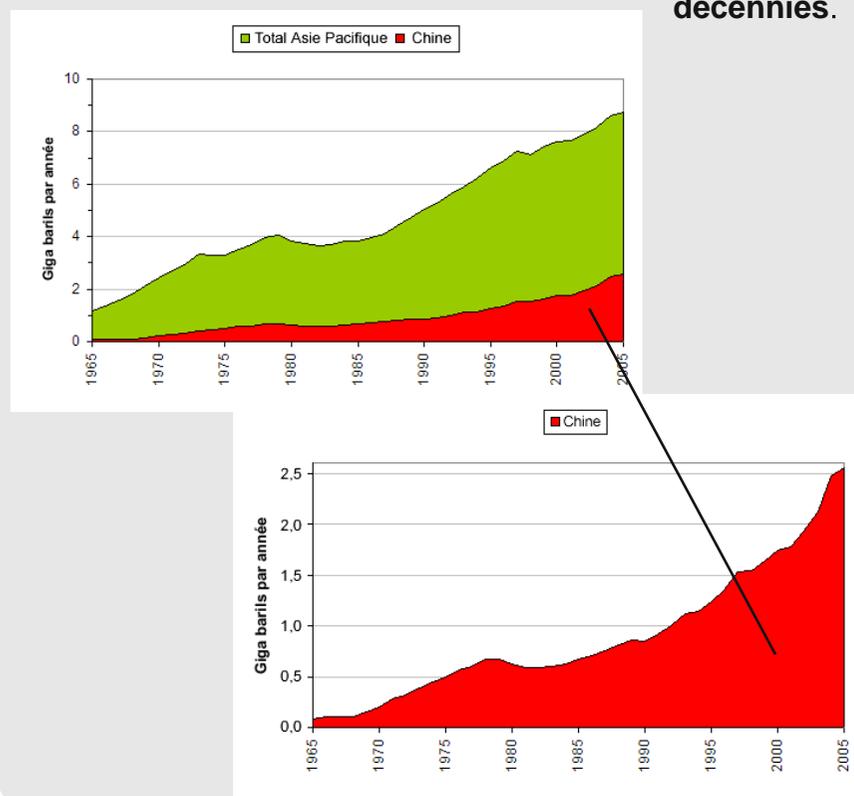
Excepté deux « chocs pétroliers » en 1974 et 1980 dus à des raisons politiques, **la consommation mondiale de pétrole n'a cessé d'augmenter**, doublant tous les 30 ans.

La demande en pétrole dans le futur sera soutenue par **trois facteurs** : l'utilisation grandissante du pétrole par les **pays en voie de développement**, l'usage croissant des **transports** à l'heure de la globalisation et l'accroissement de la **population mondiale**.

Dans les régions « développées » (USA, Europe, Royaume-Uni, Amérique centrale et du Sud), **la tendance à l'augmentation** - liée aux transports - **est plutôt modérée**.



Par contre, **la consommation de pétrole en Asie va croître de façon spectaculaire** dans les prochaines décennies.



### 7 milliards en 2012...

Durant les dix années entre 2002 et 2012, la population mondiale devrait s'accroître de 6,23 milliards à 6,96 milliards, soit "7 Belgique" par an, avec une **demande accrue en carburants, énergies, matières premières, biens de consommation et nourriture** – toutes choses fortement dépendantes du pétrole.

## Réserves mondiales

Estimer les réserves contenues dans les gisements est difficile. Les gisements étant invisibles et souterrains, la détermination de leur contenu porte un certain degré d'incertitude. Et **différentes personnes peuvent interpréter différemment les mêmes données...**

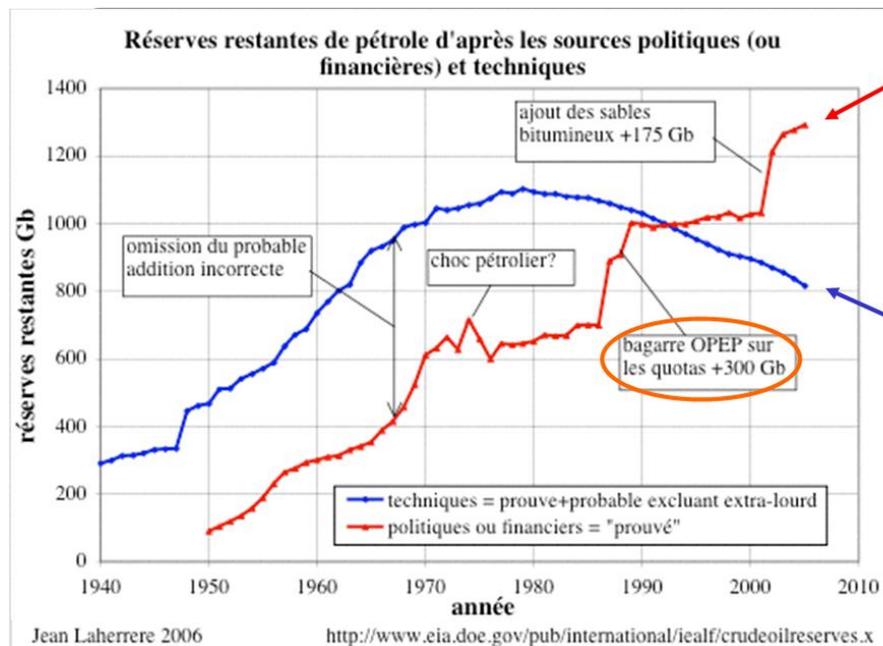
**Les réserves de pétrole sont basées sur des estimations.** Les géologues donnent donc une fourchette de 3 valeurs :

Minimum : Prouvées (= 1P)

Attendu : Prouvées + Probables (= 2P)

Maximum : Prouvées + Probables + Possibles (= 3P)

Le problème est qu'il **n'y a pas de convention sur les chiffres utilisés**. Quelques pays comme les USA utilisent des valeurs minimales, d'autres (par ex. l'ex-URSS) utilisent des valeurs maximales, et la plupart utilisent des valeurs 2P.



Les réserves publiées par les organismes internationaux (USDoE, WO, OGJ, BP review)

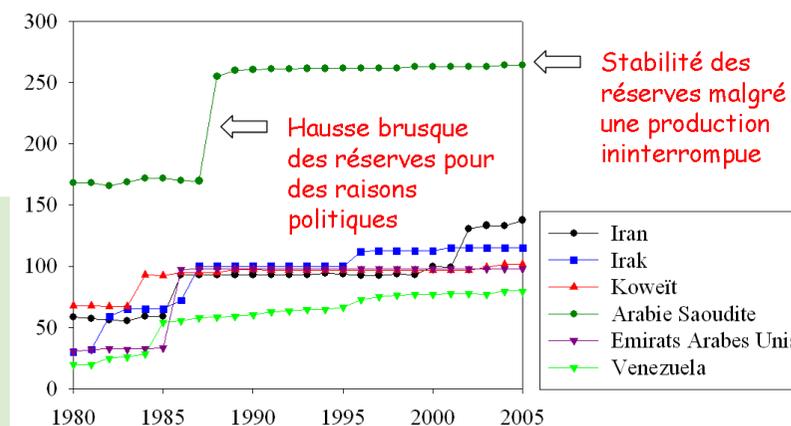
Les réserves qu'on espère extraire du sous-sol (= 2P)

Les réserves techniques diffèrent des réserves politiques :

- Jusqu'en 1990, les chiffres des réserves furent sous-estimés (réserves politiques inférieures aux réserves techniques).
- **Depuis 1980**, on découvre moins de pétrole qu'on n'en produit : **les réserves diminuent**. Pourtant, les données politiques disent le contraire...

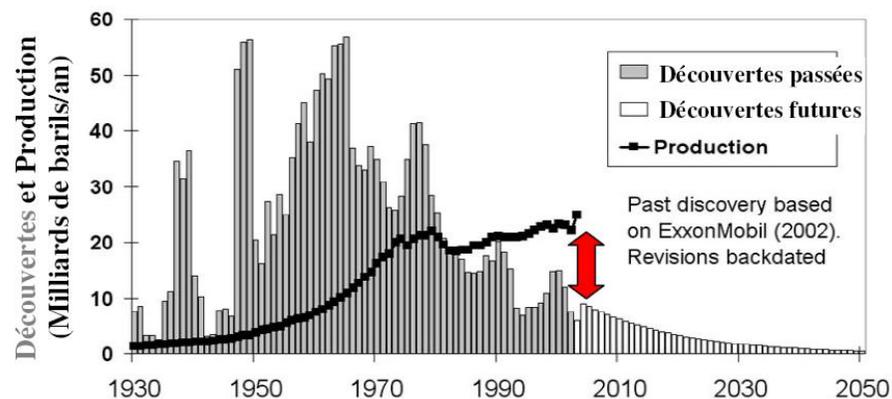
### Réserves "politiques" ?

Diverses raisons économiques et politiques peuvent influencer le volume des réserves déclarées officiellement. Par exemple, **les pays producteurs peuvent surestimer leurs réserves** pour obtenir des financements intéressants et les pays consommateurs peuvent aussi surestimer les réserves mondiales de pétrole pour apaiser les craintes de pénurie et pousser les prix du pétrole vers le bas.



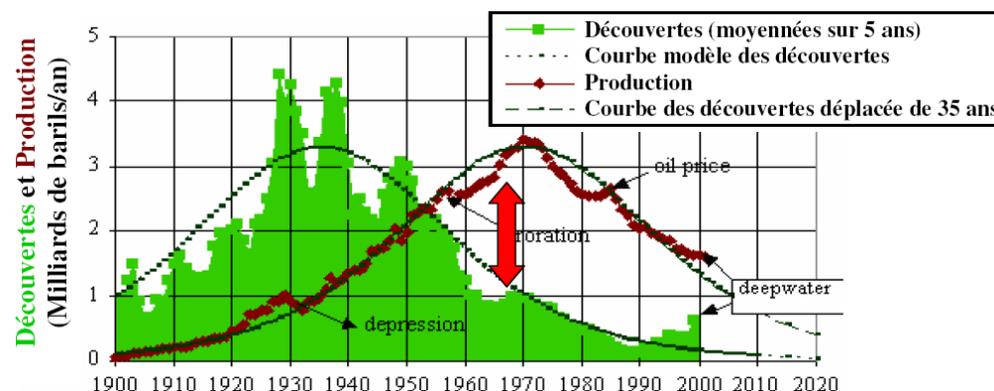
## Découvertes et production

La courbe des découvertes est l'un des outils les plus importants pour tenter de définir le moment où la production maximale - le Pic du pétrole - est atteinte : on ne peut pas produire du pétrole s'il n'a pas été découvert. Dès lors, **lorsque les découvertes diminuent, la production aussi finira par diminuer.**



A partir des années 60, **les découvertes mondiales de pétrole sont en baisse constante** (avec quelques sursauts occasionnels).

**La courbe des découvertes reflète la courbe de production avec un décalage dans le temps** qui varie d'un pays à l'autre. Les USA, par exemple, ont eu un décalage de 35 ans, alors que la Mer du Nord a eu un décalage de 25 ans. Quant aux découvertes mondiales de pétrole, elles ont atteint leur maximum il y a 40 ans...



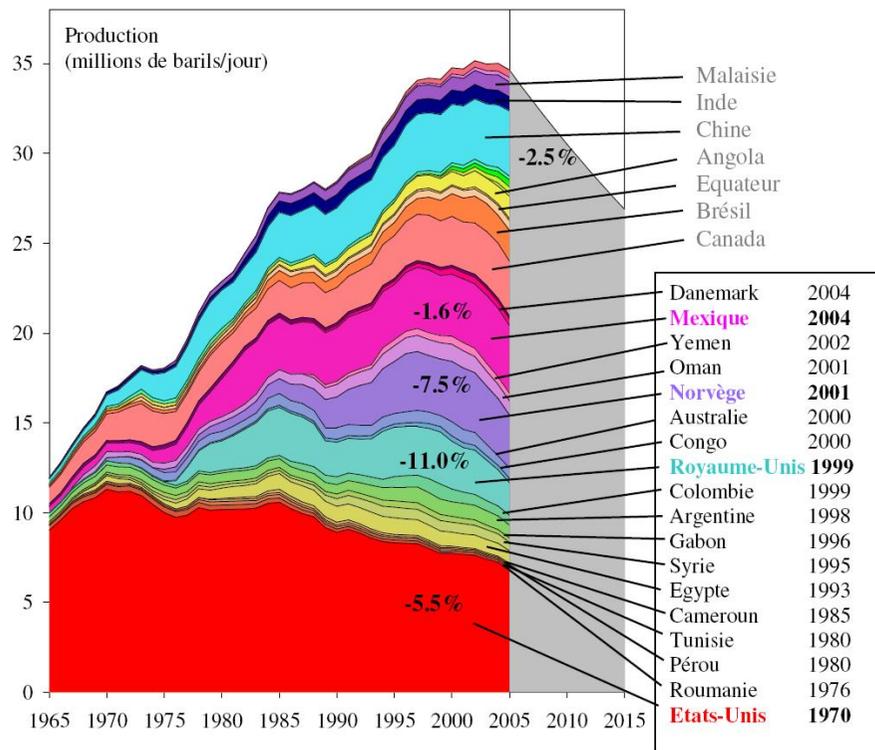
**Il faut environ cinq ans pour passer de la découverte à la production d'un champ « offshore » et trois ans sur la terre ferme.** Donc même si nous découvrons de grandes quantités dans le futur (ce que même l'industrie pétrolière estime comme peu probable), nous entamerons considérablement les réserves existantes avant de pouvoir produire ces nouveaux champs.

### Inverser la tendance ?

Pour tous ceux qui pensent que de nouvelles découvertes ou des moyens d'extraction plus élaborés apporteront une réponse au problème, il serait sage de jeter un coup d'œil à la production des USA. Elle décline depuis 1970 et, **malgré tous les efforts du pays le plus riche et le plus avancé techniquement, la courbe ne s'inverse pas.**

## Le Pic de production mondiale

Il est atteint quand, au niveau de la planète, les découvertes de nouveaux gisements et leur développement ne se font pas assez rapidement pour combler le déclin des vieux gisements existants.

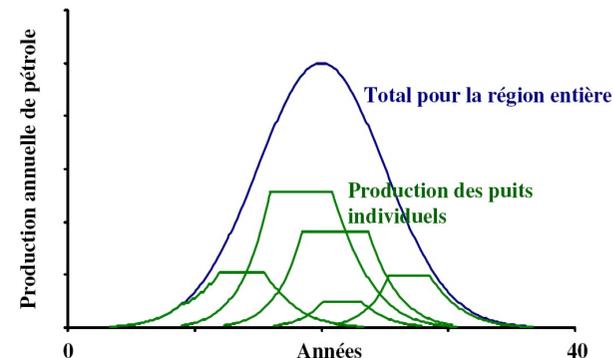


### Quand ?

De nombreux experts attendent un Pic pétrolier mondial **dans l'intervalle 2005-2020**. Nous pourrions déjà y être, car depuis 2005 la production mondiale de pétrole stagne. Et ce n'est qu'après avoir dépassé le Pic et avoir constaté que la production a décliné pendant plusieurs années que nous confirmerons avec certitude quand a eu lieu le pic.

### Pic de production ?

Pour des raisons géologiques et techniques, toute production de pétrole suit le schéma général suivant : **la production augmente après les premiers forages, atteint un maximum lorsque environ la moitié des réserves extractibles ont été produites, puis diminue progressivement jusqu'à zéro.**



**La production de pétrole est en déclin dans 33 des 48 pays producteurs principaux** (hors OPEP et ex-URSS). Quant à l'OPEP, sa production pourrait décliner au cours des prochaines années. La Russie possède également des capacités limitées de production supplémentaires.

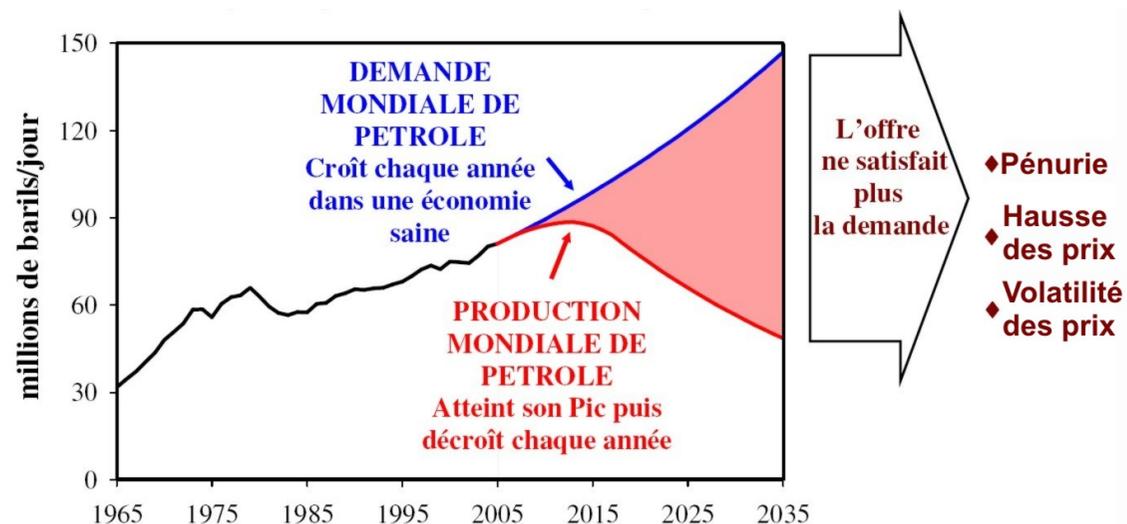
### Et le gaz ?

La situation du gaz est tout aussi préoccupante, car **un nombre significatif de producteurs clés**, assurant 50% de la production mondiale, **sont entrés en déclin de façon largement inattendue**, la plupart après l'an 2000 : les Etats-Unis, le Canada, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, et les principaux gisements russes.

## Au-delà du Pic

Le problème qui nous attend n'est pas la fin du pétrole, mais **la fin du pétrole bon marché** sur lequel est basée notre société.

Du point de vue de l'économie, le moment où il n'y aura plus de pétrole importe peu. **Ce qui compte, c'est le moment où il y en aura moins.** En effet, passé le Pic de production, un déséquilibre croissant apparaîtra entre une demande qui augmente et une production qui diminue chaque année, entraînant tout d'abord **volatilité** et **hausse des prix**, et ensuite des **pénuries**.

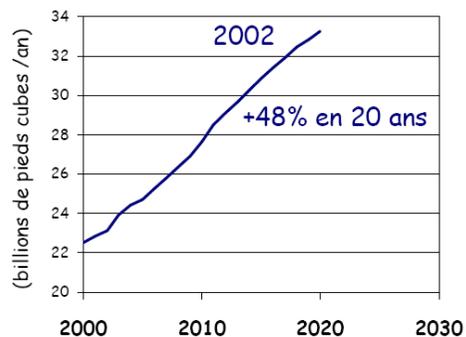


## Un cas d'école : la crise du gaz nord-américain

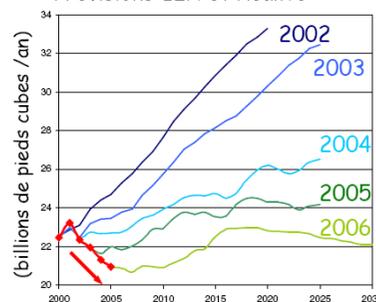
Le 'pic du gaz nord-américain' est un excellent modèle qui permet d'évaluer le passage du Pic mondial du pétrole.

En 2002, l'Administration de l'Information de l'Energie américaine (EIA) était optimiste...

Prévisions EIA pour l'approvisionnement des USA en gaz naturel nord-américain



Approvisionnement des USA en gaz naturel nord-américain: Prévisions EIA et Réalité



...mais **la production déclina au lieu d'augmenter**. L'EIA révisé à la baisse ses attentes, mais met plusieurs années à reconnaître le déclin, retardant toute action pour attaquer le problème. Pendant ce temps, **les prix montent et deviennent volatils**.

Prix du gaz naturel aux USA (\$/1000 pieds cubes - NYMEX)



Les Etats-Unis doivent faire face à des difficultés croissantes :

- **délocalisations** et **pertes d'emplois** liée à la crise du gaz (> 3 millions depuis 2000)
- augmentation de plus de 85% du coût de production de l'ammoniac (fabrication des engrais azotés) et **répercussions sur l'agriculture**
- difficultés à **alimenter les nouvelles unités de production d'électricité** (> 100 milliards \$ investis !)
- ...

## Remplacer le pétrole ?

Aujourd'hui, la consommation totale de pétrole au niveau mondial est égale à environ 30 milliards de barils par an (1 baril = 159 l). Le pétrole consommé annuellement au niveau mondial fournit environ une énergie de  $1,6 \times 10^{20}$  Joules. Cela correspond à une puissance de  $5,1 \times 10^{12}$  Watts.

### Question d'unités...

La combustion de 1 litre de pétrole fournit une énergie d'environ 33 MJ. En supposant que la masse volumique du pétrole soit de 0,8 kg/l, cela équivaut à  $33/0,8 = 41,25$  MJ/kg ou 41,25 GJ/tonne. Ce qui correspond à l'unité standard du monde pétrolier : 1 tep (tonne-équivalent pétrole) = 41,87 GJ.

Si l'on devait faire appel à une source alternative pour fournir cette quantité d'énergie, il faudrait :

- soit **5100 réacteurs nucléaires** de 1 GW (pour 450 actuellement);
- soit **5,1 millions d'éoliennes** de 1 MW. En Belgique, le rendement est voisin de 20%. Si toutes les éoliennes fonctionnaient avec le même rendement, il en faudrait 5 fois plus, occupant une superficie d'environ 250 000 km<sup>2</sup>, correspondant à plus de 8 fois la superficie de la Belgique;
- soit **280 barrages** hydro-électriques géants (tel l'ouvrage des Trois Gorges, en Chine);
- soit environ **220 000 km<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques**;
- soit environ **3,3 millions de km<sup>2</sup> de surfaces cultivées pour la biomasse**, ce qui correspond à un peu moins que la superficie de l'Union européenne des 25 ou encore une centaine de fois la Belgique.



Il n'y a donc **pas de solution miracle pour résoudre les problèmes du déclin**. La sortie du pétrole se fera via une combinaison de solutions : économies d'énergie, développement de solutions alternatives (énergie et matière première) et changement du mode de vie.

## Références principales

- BROCORENS P., *Pic du Pétrole et Pic du Gaz*, Service de Chimie des Matériaux Nouveaux (UMH), février 2007
- *Encyclopédie Universalis*
- WAUTELET M., *Vivement 2050 ! Comment nous vivrons (peut-être) demain*, L'Harmattan, Paris, 2007
- WILGENBUS D., *Les énergies fossiles*, La main à la pâte, Société française de physique, 2001
  
- <http://www.aspo.be>
- <http://www.fossil.energy.gov/education/energylessons/oil/>
- [http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete\\_terre.html](http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html)
- <http://informazout.avalonnet.com>
- [http://www.ping.be/at\\_home/](http://www.ping.be/at_home/)
- <http://www.sololiya.fr>
- <http://www.wikipedia.org>

## Crédit Photos

**p. 2** : P.-A. Bourque et Université Laval, 1997-2004 ; **p. 3 (hg)** : U.S. Department of Energy ; **p. 3 (bg)** : Lawrence Livermore National Laboratory ; **pp. 5 et 7** : the Wolf at the Door ([www.petro-pic.org.uk](http://www.petro-pic.org.uk)) ; **pp. 6, 8 et 9** : P. Brocorens ; **p. 10 (bm)** : NASA.

Les autres images sont soit sous licence GNU FDL, soit libres de droits.

Fiches pédagogiques réalisées par ApplicaSciences,  
Cellule de Diffusion des Sciences de la FPMs (<http://applicasciences.fpms.ac.be>),  
dans le cadre d'un cycle d'activités de sensibilisation au  
Pic du pétrole et du gaz (2007-2008)

