ÉCOLE ROYALE MILITAIRE

150ème Promotion SSMW,

Lt. B. DE RAS

Année académique 2014 – 2015

2ème master

Pic pétrolier : scénarios pour le futur et implications pour la Défense

Par le Sous-lieutenant Elève

Sébastien GILLOTIN

Mémoire de fin d'études département Etude des Conflits
chaire de Politique mondiale

présenté pour l'obtention du diplôme

de master en sciences sociales et militaires

sous la direction du Major Koen TROCH

Bruxelles, 2015

Ce travail est un travail personnel rédigé dans le cadre d'une formation à La Défense.
Il n'engage que son auteur et ne représente en aucun cas le point de vue de La Défense.

« It is difficult to imagine how significant the effects of being gradually deprived of one of our civilisation's most important energy sources will be. Psychological barriers cause indisputable facts to be blanked out and lead to almost instinctively refusing to look into this difficult subject in detail. Peak oil, however, is unavoidable. »
Bundeswehr, rapport sur le pic pétrolier, p. 91.

« Available energy is the main object at stake in the struggle for existence and the evolution of the world. »
Ludwig Boltzmann quoted in D'A W Thompson *On Growth and Form* (Cambridge, 1917)

Remerciements

Je remercie Bénédicte pour son aide, sa patience et son soutien indéfectible tout au long de ces cinq années, mes parents et mes beaux-parents, pour toute l'aide « logistique » qu'ils nous ont apportés. Sans eux, ce projet de reprendre des études aussi tardivement n'aurait pas été possible.

Ulysse, ce travail met un terme à mes longues absences. Merci pour ta patience et ta bonne humeur.

Merci également à Arnaud, Florian et François pour la relecture et la correction de ce travail ainsi qu'à MM. Patrick Brocorens et Pablo Servigne pour leur aide et leurs conseils.

Merci aux membres de la Défense qui ont, de près ou de loin contribué à ce travail, aux professeurs et aux cadres de l'École Royale Militaire pour leur disponibilité, à mon promoteur, le Major Koen TROCH pour ses conseils et sa disponibilité ainsi qu'au Colonel BEM Christophe Closset et à l'Adjudant-major (ER) Christian Fiévet, respectivement ancien Chef de Corps et ancien RSM du 2 Bataillon de Commandos pour m'avoir permis de préparer les examens d'entrée de l'ERM.

Enfin, pour terminer, cette liste ne serait pas complète sans une pensée pour mes camarades de la 150ème promotion SSMW.

Avant-propos

Dennis Meadows, l'auteur du rapport du Club de Rome[1] utilise l'expression « Oh my God ! Point » pour décrire chaque prise de conscience relative aux limites physiques de notre environnement et de notre société.

En ce qui me concerne, cela arriva lors d'une conférence d'Yves Cochet et de Patrick Brocorens intitulée « Pétrole, bientôt la panne sèche !? » qui eut lieu à Bruxelles le 11 avril 2011. Cette conférence fut, en effet, une révélation de l'urgence de la situation ainsi que des défis futurs et constitue le point de départ de ce travail.

La rédaction de ce mémoire fut ponctuée de nombreux autres « Oh my God ! Points », au fur et à mesure de mes lectures et de mes réflexions. Loin de se vouloir catastrophiste, pessimiste et/ou défaitiste, ma démarche vise surtout à attirer l'attention des autorités de l'institution militaire sur la problématique du pic pétrolier qui est un des enjeux qui conditionneront à terme l'avenir de notre société.

Cette démarche est également personnelle et vise à acquérir une certaine connaissance d'un sujet qui, bien que relativement sombre, est particulièrement passionnant, vaste et diversifié.

[1]Le Club de Rome est un groupe de réflexion réunissant des scientifiques, des économistes, des fonctionnaires nationaux et internationaux, ainsi que des industriels de 52 pays, préoccupés des problèmes complexes auxquels doivent faire face toutes les sociétés, tant industrialisées qu'en développement. Le Club de Rome se fit connaître mondialement en 1972 par son premier rapport, *The Limits to Growth* ou « rapport Meadows », (littéralement *Les limites à la croissance*), traduit en français par l'interrogation *Halte à la croissance ?*. (Wikipédia).

Abréviations/Définitions

- AIE / IEA : Agence Internationale de l'Énergie (International Energy Agency)
- ASPO : Association Association for the Study of Peak Oil and Gas
- BP : British Petroleum
- BTL, GTL, CTL : Biomass to Liquid, Gas to Liquid, Coal to Liquid
- CERA : Cambridge Energy Research Associates
- CNOOC : China National Offshore Oil Corporation
- CNPC : China National Petroleum Corporation
- EIA : Energy Information Administration (US)
- EOR : Enhanced Oil Recovery
- ERoEI : Energy Return on Energy Invested
- ERR : Economically Recoverable Resources
- Mtoe : Million Tonnes of Oil Equivalent
- NOC : National Oil Company
- OPEP / OPEC : Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole / Organisation of the Petroleum Exporting Countries)
- PIB / GDP : Produit Intérieur Brut (Gross Domestic Product)
- R/P : Réserves sur Production
- SLOC's : Sea Lines of Communications
- TRR : Technically Recoverable Resources
- URR : Ultimate Recoverable Resources – Cumulative production plus the estimated remaining reserves

Unités et tables de conversion

$, M$,Md$	dollar, million de dollars, milliard de dollars
€, M€, Md€	euro, million d'euros, milliards d'euros
b, kb, Mb, Gb	baril[2], millier de barils, million de barils, milliard de barils
b/j, kb/j, Mb/j ; b/d , kb/d , mb/d	baril par jour, millier de barils par jour, million de barils par jour
Wh, kWh, MWh	Watt.heure, kilowatt.heure, mégawatt.heure
Bcf, Tcf	billion cubic feets, trillion cubic feets
mcm, Bcm, Tcm	million cubic meter, billion cubic meters, trillion cubic meters
t, Mt	tonne, million de tonnes
°API	degré API, unité de mesure de la densité du pétrole
bep, tep, ktep, Mtep / boe, toe, ktoe, Mtoe	baril, tonne, millier de tonnes et million de tonnes équivalent pétrole
Btu ou BTU, MBtu	British Thermal Unit, million British thermal units
MJ , GJ, TJ, PJ , EJ	mégajoule (1 joule x 106), gigajoule (1 joule x 109), térajoule (1 joule x 1012), petajoule (1 joule x 1015), exajoule (1 joule x 1018)

Conversion en :	TJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
TJ	1	238,8	$2{,}388 \times 10^{-5}$	947,8	0,2778
Gcal	$4{,}1868 \times 10^{-3}$	1	10-7	3,968	$1{,}163 \times 10^{-3}$
Mtoe	4,1868 x 104	107	1	3,968 x107	11630
MBtu	$1{,}0551 \times 10^{-3}$	0,252	$2{,}52 \times 10^{-8}$	1	$2{,}931 \times 10^{-4}$
GWh	3,6	860	$8{,}6 \times 10^{-5}$	3412	1

[2]Unité de volume propre à l'industrie du pétrole et valant 158,98 litres. (Source : Larousse)

Table des matières

Remerciements.....3
Avant-propos.....4
Abréviations/Définitions.....5
Unités et tables de conversion.....6
Table des matières.....7
Liste des figures.....10
Introduction.....11
1. Généralités sur les hydrocarbures.....13
1.1. Hydrocarbures – Définitions.....13
1.2. Pétrole – Définition.....13
1.3. Pétrole – Genèse.....14
1.4. Concept de « réserve » et classification.....15
1.4.1. Ressources.....15
1.4.2. Réserves.....15
1.4.2.1. Réserves d'un gisement.....17
1.4.2.2. Réserves d'une région.....17
1.4.2.3. Réserves prouvées.....17
1.4.2.4. Sources et fiabilités des données.....18
1.4.3. Stocks.....20
1.5. Le pétrole dans le monde.....22
1.6. L'énergie primaire en Belgique.....23
1.7. L'approvisionnement de pétrole en Belgique.....24
1.8. La filière pétrolière en Belgique.....24
2. Concepts liés à l'énergie.....25
2.1. Energy Returned on Energy Invested ou ERoEI.....25
2.2. Énergie grise.....25
2.3. Effet rebond.....26
2.4. Énergie primaire / énergie secondaire.....26
2.5. Éxergie ou qualité de l'énergie.....26
3. Le pic pétrolier et ses effets.....28
3.1. Généralités.....28
3.2. L'effet de la reine rouge : « Ici, il faut courir le plus vite possible pour rester sur place »......31
3.3. Date de dépassement du pic pétrolier.....34
3.4. Les sources alternatives.....34
3.5. Le « Shale Oil », une « solution miracle » ?.....35

3.6. Export land effect ou export land model....37
4. Lien entre prix du pétrole et économie....38
5. Évolution des prix du pétrole....41
6. Théorie d'évolution des prix pétroliers ou « théorie du plateau de production »....42
7. Un monde complexe....47
8. Un paradigme économique biaisé....48
9. L'énergie et l'économie....50
10. La guerre en Irak de 2003, première « guerre du pétrole » ?....53
11. Les rendements décroissants....54
12. Quels scénarios pour le futur ?....57
13. Développement des scénarios....59
13.1. Stagnation....59
13.2. Développement durable....62
13.3. Résilience....66
13.4. Effondrement....67
14. Enchaînement des scénarios....71
15. Conséquences du pic pétrolier pour la sécurité énergétique en Belgique....75
15.1. Scénarios possibles suite au passage du pic pétrolier....75
15.2. Sources d'approvisionnement et dépendances possibles....76
15.3. Assurer les sources d'approvisionnement....77
15.3.1 Moyen-Orient....77
15.3.2 Russie....78
15.3.3 Caucase et Mer Caspienne....79
15.3.4 Afrique....79
15.3.5 Balkans....79
15.4. Politique étrangère....80
15.5. Conflits et coopérations potentiels avec les pays producteurs et les pays importateurs...80
15.6. Infrastructures énergétiques critiques....81
16. Une défense résiliente....82
16.1. La résilience – définition....82
16.2. La résilience et la Défense....83
16.3. Réduire la demande....83
16.4. Assurer l'approvisionnement....84
16.5. Favoriser la culture des économies d'énergies....87
16.6. Création d'une « cellule pic pétrolier »....87
16.7. Missions futures possibles....88
Conclusions....90
Annexes....92

1. Classement des hydrocarbures liquides....92
1.1. Degré API....92
1.2. Pétrole brut....92
1.3. Les condensats....92
1.4. Les liquides de gaz naturel ou LGN....93
1.5. Le pétrole extra-lourd et les sables bitumineux....93
1.6. Les schistes bitumineux....93
1.7. Le tight oil (pétrole de réservoirs compacts)....93
1.8. Les carburants xTL....94
1.9. Les biocarburants....94
1.10. Les gains de raffinage....94
2. Hydrocarbures : tableau récapitulatif....95
3. Classification des hydrocarbures selon l'EIA et l'AIE (Source : P. Brocorens)....96
4. Les 20 plus grands champs pétroliers et leur URR....97
5. Les scénarios du rapport Meadows....98
6. Pétrole : « The Heavy Users » & « The Haves »....99
7. « Identifying the state of nature » par S. Odland....100
7.1. Polyanna Scenario....100
7.2. Optimistic Scenario....100
7.3. Plateau Scenario....100
7.4. Pessimistic Scenario....101
7.5. Head of the Hills....101
8. « A matrix of plausible outcomes » par S. Odland....102
9. Conclusions du rapport Hirsch , Février 2005....104
Bibliographie....105
Lectures de référence sur le pic pétrolier....113
1. Sites internet....113
2. Livres, rapports et fichiers PDF....113
3. Ouvrage complémentaire n'ayant pu être exploité....113

Liste des figures

Figure 1: Courbe de probabilité (Source : Brocorens P.).....17

Figure 2: OPEC Official (proved) Oil Reserve (Source : Figure 7.4, p.93, WEO 1998).....19

Figure 3: 2013 World Proved Reserves, Gb (Source : EIA).....22

Figure 4: Production pétrolière en Europe occidentale (UE+Norvège). Pic en 2000. (Source : BP statistical review 2014, www.manicore.com).....29

Figure 5 : WEO 2010 – Keygraphs, p.7.....30

Figure 6: World Conventional Oil Discoveries and production 1930 - 2012 (Source : Colin Campbell, ASPO, 2012).....33

Figure 7: U.S. Rig Count - Year to Year Comparison for Oil (Source : Baker Hughes).....36

Figure 8: Liens entre prix du pétrole et récession. (Source : Brocorens P.).....39

Figure 9: World Growth in Oil, Energy and GDP. (Source : OurFiniteWorld.com).....39

Figure 10: Per Capita Oil Consumption Relative to GDP (Source : Adam Sieminski, Energy and the Economy, US EIA & JHU SAIS 2010 Energy Conference, April 6, 2010) 40

Figure 11: Oil Production Ceiling (Source : James Murray and David King, « Oil's tipping point has passed », Nature, Vol.481, 26 janvier 2012).....43

Figure 12: Variation de prix lorsque la demande approche l'offre maximum (Source : James Murray and David King, « Oil's tipping point has passed », Nature, Vol.481, 26 janvier 2012).....44

Figure 13: Modèle de plateau ondulant (février 2007, Brent 60$/b.) (Source : Brocorens P.) 45

Figure 14: Plateau ondulant (Source : Brocorens P.).....46

Figure 15: Évolution du prix du baril de Brent (Mai 1987 – Jan. 2015) (Source : EIA)….46

Figure 16: Pyramide des besoins énergétiques Source : Energy, EROI and quality of life (Lambert & Al.).....55

Figure 17: Energy Returned on Energy Invested (ERoEI) (Source : American Scientist, Volume 97).....56

Figure 18: Modèle Meadows "standard run" mis à jour par Graham M. Turne. (Source : On the cusp of global collapse ? Updated comparison of The limits to Growth with historical data.GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society . Vol. 21, n°2, 2012, p.116-124.).....61

Figure 19: Effondrement et transformation : modélisation (Source : bestfuture.com).....74

Figure 20: "Have" vs "Heavy Users". Source : AIE.....81

Figure 21: Classification des liquides selon l'U.S. Energy Information Agency (EIA).....96

Figure 22: Classification des liquides selon l'Agence Internationale de l'énergie (IEA ou AIE).....96

Figure 23: The 20 largest Oil Fields in the world with respect to URR (2007) (Source : Fredrik Robelius. Giant Oil Fields – The Highway to Oil).....97

Introduction

Nos sociétés sont des sociétés complexes. Au cours de leur évolution, la complexité fut nécessaire pour faire face aux problèmes auxquels elles étaient confrontées. Cette complexité se rapporte à de nombreux domaines tels que leur taille, leur population ainsi que le nombre de rôles sociaux qu'elles comprennent ou les mécanismes sur lesquels ces sociétés sont fondées. Afin de pouvoir suppléer à cette augmentation de complexité, une constante apparaît au cours de l'histoire : la nécessité de disposer d'énergie à un coût abordable. Le bois fut une de celles-ci durant des centaines d'années. Dès le début de la révolution industrielle, l'énergie fut fournie par le charbon.

Bien que le premier forage historique[3], creusé expressément dans le but d'exploiter économiquement du pétrole, date de 1859, le XX^{ème} siècle fut le siècle du pétrole. Cette nouvelle énergie, peu chère, facilement utilisable, facilement exploitable et facilement transportable révolutionna la société ainsi que le reconnut Clemenceau à l'issue de la Première Guerre mondiale : « Désormais, pour les nations et pour les peuples, une goutte de pétrole a la valeur d'une goutte de sang. ».[4] Un siècle plus tard, le pétrole est partout : transport, pétrochimie, industries,… et constitue le moteur de nos sociétés.

Cependant, le pétrole n'est pas une énergie renouvelable et ses réserves sont « finies ». D'après la majorité des spécialistes, le « pic de production » du pétrole est dépassé ou est en voie de l'être. Le pic pétrolier (peak oil en anglais) désigne le sommet de la courbe de production d'un bassin pétrolier ou d'une zone pétrolifère. Comme le signale le rapport Hirsch, « *previous energy transitions (wood to coal and coal to oil) were gradual and evolutionary; oil peaking will be abrupt and revolutionary.* ».[5]

L'objectif de ce travail est donc de faire un état des lieux et de déterminer quelles sont les implications du dépassement de ce pic de production. Pour ce faire, il est indispensable de comprendre plus précisément les mécanismes en jeu.

Une fois ces mécanismes intégrés, quatre scénarios seront envisagés :

- la « Stagnation » et le « Développement Durable » qui correspondent à une complexification accrue de nos sociétés ;
- la « Résilience » et l'« Effondrement » qui correspondent à une simplification (choisie pour la Résilience, imposée par les contraintes environnementales et chaotique pour le scénario « Effondrement »).

Il était initialement prévu d'analyser et de donner les orientations futures de la Défense pour chacun d'eux. Cependant, lors de la rédaction de ce travail, il est apparu que les scénarios correspondant à une complexification accrue de nos sociétés n'étaient soit pas tenable (« Stagnation » et « Développement Durable ») ou qu'il était trop tard pour les mettre en œuvre au niveau de la société (« Développement Durable »). Durant ces derniers mois, correspondant à la rédaction de ce travail, deux livres ont été édités qui vont dans même sens.[6]

[3]Le pétrole est utilisé à petite échelle depuis la nuit des temps.
[4]Câblogramme du président du conseil Georges Clemenceau au président Wilson. FONTAINE Pierre. La guerre froide du pétrole, p.10.
[5]HIRSCH Robert, BEZDEK Roger, WENDLING Robert. Peaking of world oil production : Impacts, mitigation, & risk management, p.64.
[6]« Comment tout peut s'effondrer » de Pablo Servigne, publié le 9 avril 2015 et « Le grand pillage » de Ugo Bardi publié le 02 avril 2015.

Les données utilisées reposent essentiellement sur les travaux de scientifiques spécialistes du pic pétrolier et de l'étude de l'effondrement des sociétés tels que des géologues, des ingénieurs, des anthropologues, des économistes… Des sources délibérément partisanes telles que des publications issues de mouvements écologistes ont été exclues du cadre de recherche.

En ce qui concerne l'étude de la résilience, de nombreuses publications ont été éditées ces dernières années. Ces publications se rapportent principalement à l'étude de solutions alternatives pour une évolution de la société. Néanmoins, de nombreux concepts sont pertinents et peuvent de ce fait être adaptés à la Défense.

De nombreuse publications militaires, émanant principalement de l'USDoD[7] furent également utilisées. Les composantes de ce département sont, à l'heure actuelle, les plus avancées en ce qui concerne les projets d'économies d'énergies fossiles, principale solution aux effets du pic pétrolier.

La Défense doit donc prendre en compte ces perspectives futures et se préparer à cet état de fait. Au fil de ce travail, plusieurs solutions seront proposées. Il s'agit principalement d'augmenter l'indépendance énergétique de la Défense. Afin de pouvoir continuer à assurer ses missions, la Défense de demain sera résiliente.[8]

L'avenir d'un monde sans pétrole est un sujet d'actualité traité dans de nombreux ouvrages. Le pic pétrolier est inévitable, il est indispensable d'en prendre conscience et de s'y préparer.

[7]United States Department of Defense.

[8]La résilience est la capacité d'un système à absorber une perturbation et à se réorganiser en intégrant ce changement, de manière à conserver les mêmes fonctions essentielles, la même structure et les mêmes capacités de réaction. WALKER B. ET SALT D. Resilience thinking : sustaining ecosystems and people in a changing world, Island Press, 2006, cité par HOPKINS. Ils changent le monde. p. 49.

1. Généralités sur les hydrocarbures

1.1. Hydrocarbures – Définitions

Les hydrocarbures comprennent toutes les molécules en forme de chaîne ou circulaires constituées d'hydrogène et de carbone.[9] En fonction de leur mode d'extraction, les hydrocarbures peuvent être classés, en deux catégories principales : les hydrocarbures conventionnels et les hydrocarbures non-conventionnels. Il n'existe pas de limite clairement définie et consensuelle entre ces deux catégories.

En annexe 1 se trouve la classification des différents hydrocarbures.

1.2. Pétrole – Définition

Dans le dictionnaire Larousse, pétrole signifie : « *huile minérale naturelle, de couleur très foncée, d'une densité variant de 0,8 à 0,95, composée essentiellement d'hydrocarbures paraffiniques, naphténiques et aromatiques (on dit aussi pétrole brut et, dans les opérations d'exploration et de production, huile), nom donné au kérosène lorsqu'il est utilisé dans des lampes et des réchauds.* » Cette définition ne s'applique cependant pas aux pétroles lourds, dont la densité est supérieure à 1.

D'un point de vue pratique, le pétrole tel qu'il est extrait du sol est appelé pétrole brut (crude oil).

D'un point de vue commercial et bien que chaque région pétrolière produise une variété différente des autres, deux types de pétrole servent principalement à la détermination des cours : le Brent,[10] originaire de Mer du Nord et le WTI (West Texas Intermediate). Tous deux sont des pétroles dits légers. Leur cours se suivent en général, mais il peut arriver qu'une différence sensible des cours les sépare.

Les pétroles liquides sont classés en différentes catégories : pétrole conventionnel, pétrole non conventionnel et substituts du pétrole ou pétroles synthétiques. Les définitions et les frontières entre les catégories peuvent être variables dans le temps et d'une source à l'autre.

Cette classification est parfois basée sur des critères technico-économiques. Ce sont donc les progrès techniques qui définissent la frontière entre pétroles conventionnels et non-conventionnels. Cette frontière évolue donc dans le temps en fonction de l'évolution technologique. Des critères physiques sont également parfois utilisés.

Il est donc extrêmement difficile de comparer les rapports et les statistiques, que ce soit d'une année à l'autre ou en fonction des auteurs de l'étude. Cela est dû au grand nombre de définitions, à leur changement au cours du temps ainsi qu'au continuum entre catégories. Sur la figure présentée en annexe 2 (classification des liquides selon l'AIE), la production de pétrole est caractérisée par cinq chiffres différents. Le mot « pétrole » recouvre donc un sens très large.

[9]MARSHAK Stephen. Terre, portrait d'une planète.

[10]Broom, Rannock, Etive, Ness et Tarbert sont les principaux champs pétrolifères de la Mer du Nord.

1.3. Pétrole – Genèse

Les substances chimiques qui forment le pétrole tirent leurs origines d'algues et de planctons qui, sous des conditions particulières telles qu'un milieu calme, pauvre en oxygène et riche en argile, sédimentent.

Cette sédimentation entraîne la constitution de schiste riche en substance organique appelé roche mère. Sous des conditions particulières de température et de pression, les réactions chimiques produites au sein de cette roche mère transforment la matière organique en kérogène. Le schiste riche en kérogène est appelé schiste bitumineux.

Si les conditions favorables persistent, les molécules de kérogène se brisent et forment du pétrole ou du gaz. Si la pression et la température augmentent, le kérogène se transforme en graphite. La formation du pétrole ne peut donc se faire que dans une fenêtre relativement étroite appelée « fenêtre à huile ». Les puits forés dans la roche mère ne fournissent que peu de pétrole car celui-ci ne s'écoule pas facilement de la roche vers le puits, la matière organique étant piégée dans le schiste bitumineux.

Une partie du pétrole est expulsée de la roche mère, migre vers des roches poreuses par des fissures. Et si ces roches sont surmontées par une couche imperméable, il y a accumulation de pétrole dans ces roches, qui sont appelées roches réservoirs. Cela constitue un gisement, dont on extrait en moyenne 35% du pétrole piégé. C'est dans cette accumulation que sont forés les puits d'extraction.

Les hydrocarbures peuvent donc être considérés comme des énergies renouvelables ... sur le très long terme, de l'ordre de millions d'années et dans des conditions très particulières.

1.4. Concept de « réserve » et classification

La finitude de nombreuses ressources énergétiques est un truisme.[11] Cependant, afin de pouvoir expliquer et surtout tenter de modéliser la problématique du pic pétrolier, il importe de définir le plus précisément possible différentes notions spécifiques aux ressources naturelles minérales.

Il existe encore à l'heure actuelle une controverse entre les différents spécialistes du monde pétrolier en ce qui concerne les définitions liées aux réserves. Cette controverse provient en partie du fait que les termes et notions sur lesquels ils se basent diffèrent plus ou moins fortement. Les estimations de réserves étant par définition incertaines puisque basées sur des prospections, certaines conventions ont été adoptées. Ces conventions ne font cependant pas consensus. Le pétrole étant par nature une ressource stratégique, de nombreux acteurs possèdent leurs propres définitions. En effet, outre des considérations purement physiques, techniques et géologiques, il importe de garder à l'esprit les facteurs économiques, politiques et géopolitiques.

Cette partie du travail est largement basée sur le « Rapport d'enquête publique du Parlement wallon sur les liens entre l'économie et le pic pétrolier, et les implications pour la Wallonie »[12] rédigé principalement par des membres de l'association ASPO[13] Belgique. Ce rapport synthétise de nombreuses sources et permet de cerner différents points de vue.

Par extension, ce concept de réserve peut-être étendu à toutes les ressources minérales dont les métaux dont il sera également question au cours de ce travail.

1.4.1. Ressources

La première définition est celle de ressource minérale. Selon Stephen Marshak, les ressources minérales sont les minéraux extraits de la croûte terrestre à des fins économiques.[14]

En ce qui concerne les hydrocarbures, les ressources correspondent à l'évaluation des quantités totales d'hydrocarbures qui existent. Il faut donc tenir compte des volumes contenus dans les sédiments ainsi que dans les gisements découverts et non découverts, que ceux-ci soient exploitables ou pas.

1.4.2. Réserves

Selon Stephen Marshak, les réserves pétrolières correspondent à la quantité de pétrole qui est détenue dans le sous-sol et qui est bien identifiée.

Pour une définition plus précise, les réserves pétrolières correspondent à la fraction des ressources présentes dans les gisements connus et dont l'extraction est considérée possible sous certaines conditions, qui incluent notamment des hypothèses économiques, des connaissances sur la faisabilité technique des projets et des informations géologiques. Comme précisé plus haut, de nombreux autres facteurs dépendant des intérêts des différents acteurs peuvent s'ajouter à cette définition. La question des réserves revient donc à savoir quel est le prix, d'un point de vue économique, énergétique ou environnemental, que les acheteurs sont prêts à donner pour exploiter ces ressources.

---

[11]Par définition, seules les énergies renouvelables sont « inépuisables ».

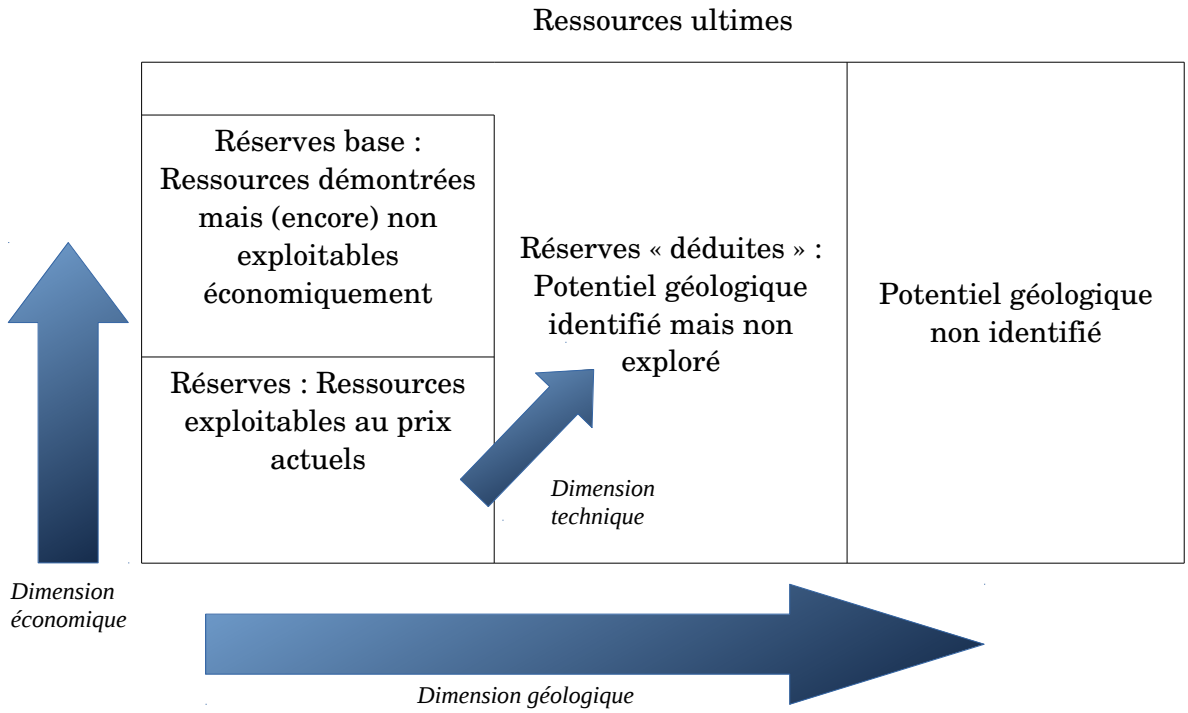
[12]21 mars 2014, commission pic pétrolier, Composée de Mr Lebrun Michel (Cdh), Onkelinx Alain (PS), Desgain Xavier (Écolo) et de Mme Barzin Anne (MR).

[13]Association for the Study of Peak Oil and Gas.

[14]MARSHAK. Op.Cit.

A noter qu'une réserve peut être considérée comme une ressource, mais qu'une ressource, si tant est qu'il est envisageable d'en exploiter une partie, ne peut être considérée comme une réserve. Les réserves sont un sous-ensemble des ressources. Lors de ce travail, deux modèles seront utilisés.

Le premier modèle est un schéma général applicable à toutes les ressources géologiques et décrit l'évolution de la conversion de ressources en réserves. Ce modèle est utilisé entre autres pour les métaux.[15]



Le second modèle quant à lui exprime les quantités de réserve sous la forme d'une probabilité d'existence afin de pouvoir traiter plus adéquatement les incertitudes. C'est un outil utilisé par les géologues pour évaluer les réserves d'un gisement et décider, entre autres données, si la décision de mise en exploitation est prise ou pas.

[15]BIHOUIX Philippe, de GUILLEBON Benoît. Quel futur pour les métaux – Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société. p.27.

Sur le tableau suivant, il est possible d'observer :

– les réserves prouvées (ou 1P), pour lesquelles il y a 90% de chance qu'on récupérera davantage de pétrole que l'estimation annoncée. Ces réserves (1P) sous-estiment la quantité de pétrole récupérable ;
– les réserves prouvées et probables (ou 2P), pour lesquelles il y a 50% de chance qu'on récupérera davantage de pétrole que l'estimation annoncée ;
– les réserves prouvées, probables, et possibles (ou 3P), pour lesquelles il n'y a que 10% de chance qu'on récupérera davantage de pétrole que l'estimation annoncée.

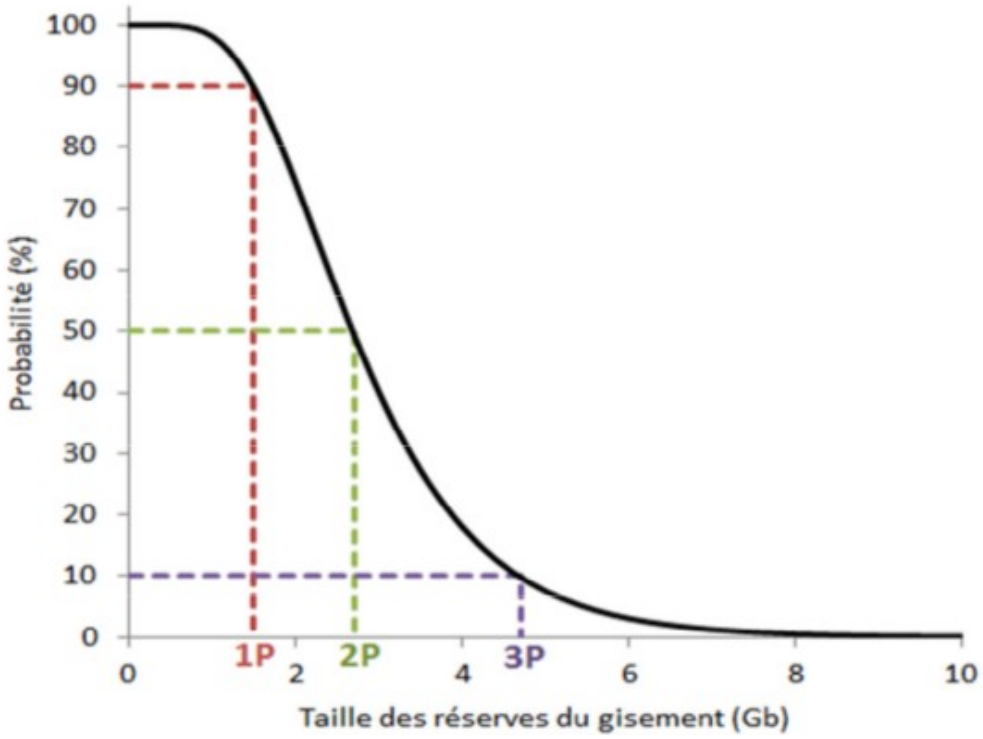


Figure 1: Courbe de probabilité (Source : Brocorens P.)

Dans cet exemple, il y a 90 % de chance de récupérer plus de 1,5 Gb (1P), 50 % de chance de récupérer plus de 2,7 Gb (2P) et 10 % de chance de récupérer plus de 4,7 Gb (3P). La moyenne correspond à 3 Gb et une probabilité de 40 %; la moyenne est la valeur attendue, et se rapproche fortement de (2P).

1.4.2.1. Réserves d'un gisement

La quantité de pétrole récupérable attendue est donnée par la moyenne de la distribution de probabilité. La moyenne n'est cependant pas toujours disponible dans les bases de données, mais se rapproche souvent de la valeur médiane, qui correspond à 2P (50% de probabilité), si bien que certains utilisent les réserves prouvées et probables (2P) comme estimation de ce que les compagnies s'attendent à extraire du sous-sol.[16]

1.4.2.2. Réserves d'une région

Pour obtenir les réserves d'un pays ou d'une région, on additionne les chiffres des gisements individuels de ce pays ou de cette région.

[16]BROCORENS Patrick & Al. Rapport d'enquête publique du parlement wallon sur les liens entre l'économie et le pic pétrolier, et les implications pour la Wallonie. 2014. . p.48 ;

1.4.2.3. Réserves prouvées

La plupart des études faisant référence aux réserves pétrolières sont basées sur trois sources principales : le BP *Statistical Review*, *Oil & Gas Journal* (OGJ) et *World Oil*. Les données des deux dernières sources proviennent d'associations industrielles, de compagnies pétrolières, de sources privées et et d'enquêtes effectuées au niveau des États. Par exemple, pour les pays de l'OPEP, les chiffres sont fournis par les États et ne sont pas audités. Il s'agit essentiellement de chiffres politiques liés aux quotas de productions instaurés dans les années quatre-vingts pour limiter un effondrement des prix. À l'heure actuelle, seuls trois pays offrent une totale transparence quant à l'état de leur réserves. Il s'agit des USA, de la Grande-Bretagne et de la Norvège.[17]

1.4.2.4. Sources et fiabilités des données

Le problème majeur lors de l'estimation des réserves provient de la nature hautement stratégique du pétrole ainsi que par la multitude de définitions. « L'estimation des réserves est avant tout politique : c'est ce qui fait la richesse d'une compagnie pétrolière, c'est ce qui fait la puissance d'un pays, c'est ce qui fait son importance sur l'échiquier géopolitique ».[18] Il est donc peu étonnant que ces estimations soient biaisées. Selon Éric Laurent, « *les réserves totales des pays de l'OPEP ont connu une croissance vertigineuse de plus de 65 %, passant de 467,3 milliards de barils en 1982 à 771,9 milliards de barils en 1991, sans qu'aucune découverte d'importance ne justifie cette hausse de plus de 300 milliards de barils.* ».[19]

Plus récemment, des déclarations semblables ont été prononcées par David King, l'ancien conseiller scientifique de Tony Blair : « *Conventional oil reserves are about 30% lower than widely reported* ».[20] J.R. Wood ajoute : « *Saudi Arabia has over 300 recognized reservoirs but 90% of its oil comes from the five super giant fields discovered between 1940 and 1965. Since the 1970s there haven't been new discoveries of giant fields.* ».[21]

Les différents acteurs peuvent avoir des objectifs différents à dissimuler ou à modifier l'état de leur réserve. Un État producteur aura tout intérêt à surestimer ses réserves.[22]

---

[17]BROCORENS & Al. Op. Cit. p.54

[18]GIANNESINI Jean-François, Mots Croisés, France 2, « Essence : le litre à 1,50€ », 13 novembre 2007. [émission télévisée].

[19]LAURENT Eric. « Les chiffres sur les réserves de pétrole sont faux ! » par, AgoraVox, jeudi 1er juin 2006. http://www.agoravox.fr/culture-loisirs/extraits-d-ouvrages/article/les-chiffres-sur-les-reserves-de-10130, consulté le 24 février 2015.

[20]« Top scientist says politicians have 'heads in the sand' over oil », The Guardian, http://www.theguardian.com/environment/2010/jun/09/sir-david-king-dwindling-oil-supplies, consulté le 24 février 2015.

[21]WOOD J. R. Peak Oil : the looming energy crisis.

[22]« US diplomat convinced by Saudi expert that reserves of world's biggest oil exporter have been overstated by nearly 40% », In The Guardian du 8 février 2011, http://www.theguardian.com/business/2011/feb/08/saudi-oil-reserves-overstated-wikileaks, consulté le 3 mars 2015.

Ces surestimations peuvent parfois être brutales et difficilement explicables. Ces hausses ne possèdent à l'heure actuelle, aucune explication officielle.

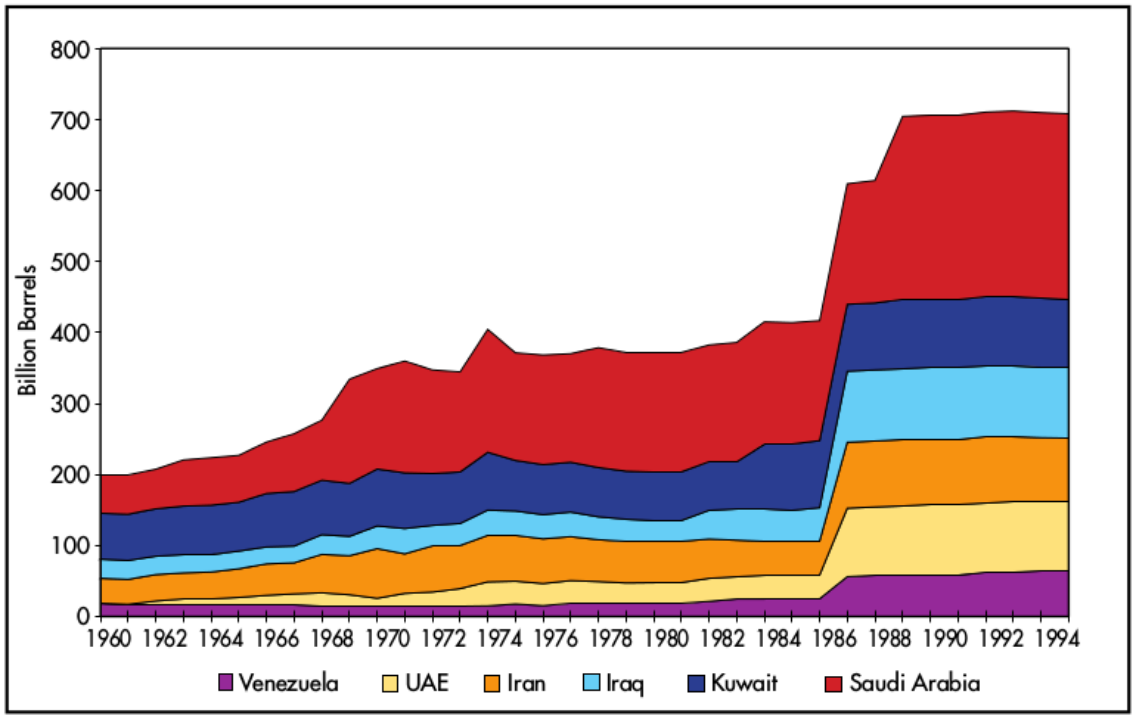


Figure 2: OPEC Official (proved) Oil Reserve (Source : Figure 7.4, p.93, WEO 1998)

Une société pétrolière, quant à elle, aura tout intérêt à sous-estimer ses réserves afin de pouvoir « lisser » les découvertes et présenter des augmentations régulières années après années. Une diminution soudaine de l'estimation de ses réserves réelles peut avoir des conséquences sur son cours de bourse et donc sur ses résultats financiers. Il en fut par exemple ainsi pour la société Shell en 2004.[23]

Une raison supplémentaire à ces surestimations des réserves pétrolières est que celles-ci sont en grande majorité aux mains de NOC's[24] contrôlées par les gouvernements. Ces sociétés détiennent plus de 90 % des hydrocarbures. Sur les vingt plus grandes sociétés en termes de réserves de gaz et de pétrole, seize sont des NOC's. Saudi Aramco, la plus grande d'entre elles, dispose de réserves dix fois supérieures à Exxon, la plus importante société privée du secteur.[25]

Cette mainmise du secteur étatique sur l'énergie explique en partie[26] la difficulté à connaître l'état réel des réserves, à priori surestimées pour les raisons expliquées ci-dessus. Les incertitudes liées à l'absence de données objectives rendent difficiles les prévisions pour le futur et donc la possibilité de déterminer plus précisément la période quand surviendra le pic pétrolier. Plus grave, elles contribuent à alimenter le doute sur la réalité et l'imminence du pic pétrolier.

[23]« Shell annonce une nouvelle surestimation de ses réserves », Les Échos du 19 mars 2004, http://www.lesechos.fr/19/03/2004/LesEchos/19119-101-ECH_shell-annonce-une-nouvelle-surestimation-de-ses-reserves.htm#LdmEWbf2Hd83QA5B.99, consulté le 25 février 2015.
[24]National Oil Companies ou Compagnies Pétrolières Nationales.
[25]« Really Big Oil », The Economist, 10 août 2006, http://www.economist.com/node/7276986, consulté le 26 février 2015.
[26]Des contraintes liées à la prospection entrent également en jeu.

1.4.3. Stocks

Les stocks d'hydrocarbures sont classés en trois catégories :

- Les stocks primaires sont détenus par les acteurs du marché pétrolier. Il s'agit de dépôts de raffinerie, de pétroliers, … Ces stocks peuvent être détenus à l'étranger.[27] Pour la Belgique, ces stocks se trouvent en partie dans des cavernes de sel souterraines situées dans le Nord de l'Allemagne, sur la côte de la Mer du Nord.[28] Les stocks stratégiques des États et des entreprises de stockage font partie de cette catégorie ;
- Les stocks secondaires sont des dépôts dont la capacité est inférieure à un certain seuil qui sont approvisionnés par train ou par camion ainsi que les commerces de détail ;
- Les stocks tertiaires sont détenus par les utilisateurs finaux.

Suite à la crise pétrolière de 1973, certains pays ont décidé de constituer une réserve stratégique de pétrole. En tant que membre de l'Union Européenne, de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) et de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE), la Belgique dispose d'un tel stock stratégique.[29] Celui-ci est géré par l'APETRA, l'agence de stockage nationale (Agence PETRolière – PETRoleumAgentschap), qui est chargée, selon les termes de la loi, de la conservation et de la gestion des réserves stratégiques de la Belgique.[30] Ces stocks sont détenus sous forme de pétrole brut et de produits pétroliers raffinés.

L'utilisation de ces stock en temps de crise et leur injection en amont des chaînes de distribution se fait alors sous la responsabilité du ministère de l'énergie. En cas de crise, les prix appliqués seront ceux du prix du marché du moment. Cette situation de crise doit être reconnue par le Comité de gestion de l'AIE, le groupe de coordination du Conseil européen ou par le Conseil des Ministres.

En cas de prix peu élevés du pétrole, certains négociants et certaines compagnies pétrolières stockent de grandes quantités en mer, dans des super-tankers.[31] En cas de prix élevés, l'utilisation partielle des stocks stratégiques peut être décidée comme arme politique, ce qui va à l'encontre de l'idée initiale de constitution de ces stocks.[32] En effet, l'injection de ces stocks sur un marché dont les prix sont élevés implique soit que ces stocks ne seront pas renouvelés, soit qu'ils le seront, si la situation le permet, à un coût élevé.

---

[27] Directive 2006/67/CE du Conseil, du 24 juillet 2006, http://europa.eu/legislation_summaries/energy/external_dimension_enlargement/l27071_fr.htm, consulté le 2 avril 2015.

[28] « Les stocks stratégiques de pétrole. », Question et réponse écrite n° : 0026 - Législature : 54, http://www.lachambre.be/kvvcr/showpage.cfm?section=qrva&language=fr&cfm=qrvaXml.cfm?legislat=54&dossierID=54-b010-871-0026-2014201500990.xml, consulté le 14 avril 2015.

[29] http://www.apetra.be/fr/node23/scenario-de-crise, consulté le 01 mars 2015.

[30] « Loi relative à la détention des stocks obligatoires de pétrole et des produits pétroliers et à la création d'une agence pour la gestion d'une partie de ces stocks et modifiant la loi du 10 juin 1997 relative au régime général, à la détention, à la circulation et aux contrôles des produits soumis à accises » du 26 janvier 2006 et « Loi portant des dispositions diverses » du 20 juillet 2006.

[31] « Le stockage du pétrole en haute mer - Les dossiers de l'Écomatin », https://www.rtbf.be/info/emissions/article_le-stockage-du-pretrole-en-haute-mer-les-dossiers-de-l-ecomatin?id=8898328, consulté le 14 avril 2015.

[32] « Recours aux stocks stratégiques de pétrole : un signe politique », Le Monde du 29 mars 2012, http://www.lemonde.fr/election-presidentielle-2012/article/2012/03/29/recours-aux-stocks-strategiques-de-petrole-un-signe-politique_1677546_1471069.html, consulté le 14 avril 2015.

La mise en place de dispositifs d'urgence doit être planifiée longtemps à l'avance, ne peut laisser de place à l'improvisation et ne doit pas être prise à la légère.[33] Comme cela est indiqué précédemment, les stocks nationaux se trouvent en partie à l'étranger. Il importe donc d'assurer le fonctionnement des pipe-lines qui servent à transporter une partie de ces stocks, le reste étant transporté par navires. Les secteurs et les points CRIVISEN[34] doivent être clairement identifiés à l'avance afin d'assurer la sécurité de leur approvisionnement en cas de choc particulièrement violent. Il importe donc de pouvoir acheminer les carburants jusque sur le sol national. En cas de pénurie durable, cela pourrait être problématique dans le long terme, puisque ces installations nécessitent, pour leur maintenance, de nombreux déplacements, que ce soit de personnel spécialisé ou de pièces de rechanges. Dans le cas d'une centrale nucléaire, par exemple, une fois passée la phase initiale d'arrêt du réacteur, celui-ci nécessite un refroidissement complémentaire de plusieurs semaines pour accomplir un arrêt complet. En cas de rupture d'approvisionnement électrique, ce système de refroidissement est basé sur des générateurs thermiques et nécessite donc un approvisionnement continu en carburant.[35]

Les secteurs CRIVISEN sont nombreux et regroupent différents secteurs : l'approvisionnement en eau, nourriture et énergie, les services médicaux, les institutions et évidemment, les services de sécurité. En ce qui concerne la Défense, cette base de données est à jour. Ce n'est cependant pas encore le cas pour d'autres ministères. Les implications d'une rupture même temporaire peuvent être immenses.[36]

Comme l'explique Orlov[37] sur son blog, une diminution brutale de l'approvisionnement peut créer une boucle de rétroaction positive et aggraver fortement le choc initial.[38] Si la crise perdure, de nombreux utilisateurs pourraient en effet être tentés d'accumuler du carburant, pour se chauffer ou pour leurs trajets, et ainsi permettre à terme de créer un marché noir qui, par effet boule de neige, pourrait aggraver une situation de pénurie déjà présente et tirant les prix vers le haut.

Ces stocks, constitués suite aux crises pétrolières des années septante sont donc particulièrement bien adaptés à ce pourquoi ils ont été établis : un choc violent et bref. Ils ne seront que de peu d'utilité en cas de hausse forte et durable des prix pétroliers.

---

[33]Disponibilité d'un paquet opérationnel de mesures limitant la demande, vu sur le site du SPF Économie, http://economie.fgov.be/fr/consommateurs/Energie/Securite_des_approvisionnements_en_energie/Politique_de_crise_coordination/petrole/#.VTEo0OT7vtR, consulté le 1 avril 2015.

[34]CRitiques, Vitaux et SENsibles.

[35]« De l'art d'arrêter un réacteur nucléaire ». GIRARDIN Gaëtan. http://www.enerzine.com/2/13495+de-lart-darreter-un-reacteur-nucleaire+.html, consulté le 16 avril 2015.

[36]FRIEDEMANN Alice. « Why You Should Love Trucks », 27septembre 2014 et « If Trucks Stopped Running », 1 octobre 2014, http://energyskeptic.com/2014/when-trucks-stop-running-civilization-stops-running/, consulté le 14 avril 2015.

[37]Dmitry Orlov, ingénieur russo-américain à étudié l'effondrement de la Russie dans les années nonante.

[38]http://cluborlov.blogspot.be/

1.5. Le pétrole dans le monde

La majorité du pétrole mondial est concentrée dans ce que l'on appelle l'« ellipse stratégique ». Celle-ci englobe l'Arabie Saoudite, une part importante de la Fédération de Russie, les Émirats arabes unis, le Qatar, l'Irak, le Koweït et le Kazakhstan. À elle seule, cette zone recèle 74 % des réserves mondiales de pétrole conventionnel.[39]

D'autres pays possèdent des réserves conséquentes, comme le Venezuela ou le Canada. Ces réserves sont cependant constituées de pétrole extra-lourd et de sables bitumineux dont l'extraction, particulièrement onéreuse et énergivore tient plus de l'industrie minière que de celle des hydrocarbures.[40]

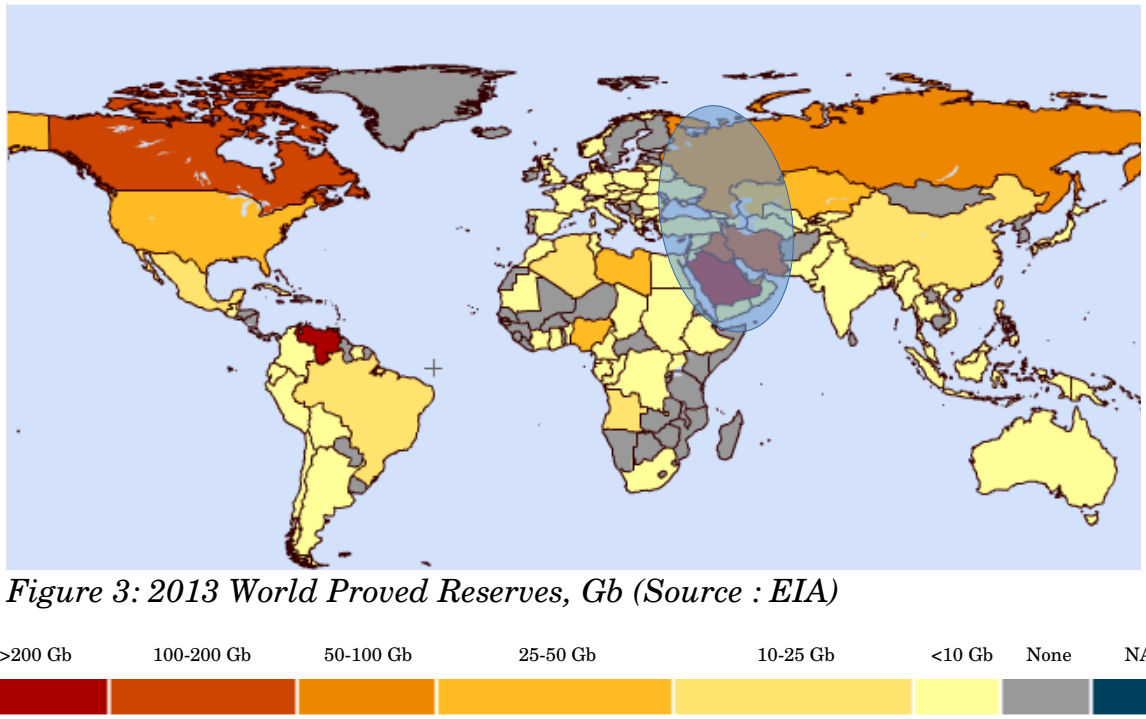
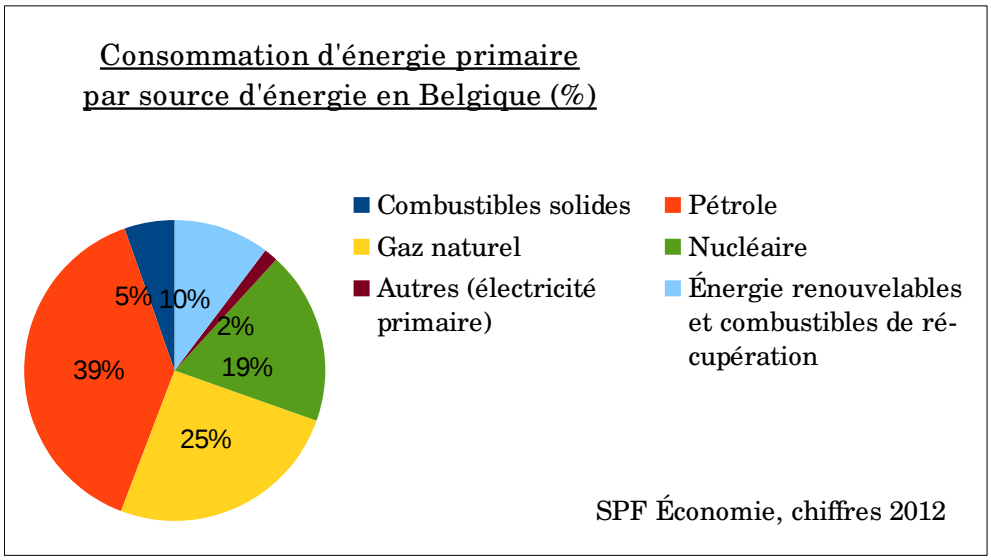


Figure 3: 2013 World Proved Reserves, Gb (Source : EIA)

[39]BUNDESWEHR TRANSFORMATION CENTER, Future Analysis Branch. Armed Forces and Technologies in the 21st Century, Environmental Dimensions of Security ; Sub-Study 1 : PEAK OIL : Security Policy implications of scarce ressources. p. 9.
[40]Voir annexe 1.5.

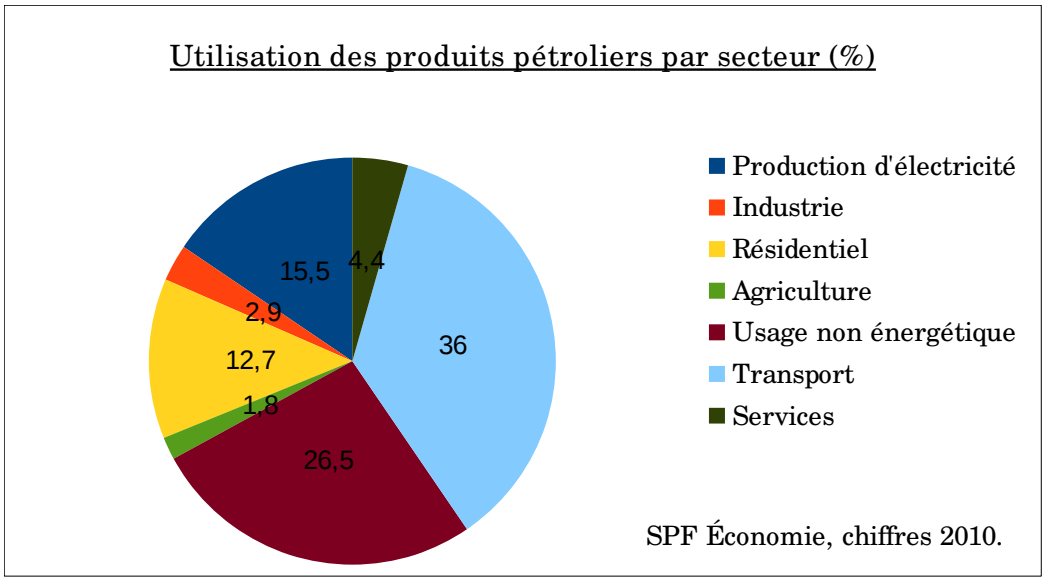
1.6. L'énergie primaire en Belgique

La consommation annuelle d'énergie primaire par habitant est, en Belgique, une des plus élevée au monde. Elle est supérieure de 44 % à la moyenne de l'Union Européenne. La raison principale en est la structure industrielle, particulièrement énergivore. La pétrochimie représente en effet une grande place dans notre économie.



Les énergies fossiles représentent près de 70 % de notre consommation d 'énergie primaire. Le pétrole, près de 40 %, ce qui correspond à une consommation annuelle d'environ 2,15 tonnes par habitant.[41] La moyenne annuelle européenne étant de 1,5 tonne.

Notre pays est donc extrêmement dépendant des ressources énergétiques, bien plus que nos voisins. Les transports, tant de marchandises que de personnes, représentent la plus grande part de la consommation pétrolière (36%). Les usages non énergétiques se rapportent aux industries pétrochimiques[42] et représentent environ le quart de la consommation, l'utilisation résidentielle et la production d'électricité représentant chacun environ 15 % du total.



[41]DESGAIN Xavier & DARAS José. La Belgique survivra au pétrole.
[42]http://www.manicore.com/documentation/petrole/usage_petrole.html, consulté le 30 avril 2015.

1.7. L'approvisionnement de pétrole en Belgique

Pour satisfaire à sa consommation, la Belgique importe la totalité de ses besoins en pétrole. Ses principaux fournisseurs sont la Fédération de Russie pour 37 %, l'Arabie Saoudite pour 23 %, le Nigeria pour 14 %, la Norvège et le Royaume-Uni pour respectivement 7 et 5 %. Les 14 % restants sont fournis par d'autres pays. La demande s'élevait, en 2012 à 617,8 kb/j, ce qui équivaut approximativement à la moitié de la quantité transportée par un *Very Large Crude Carrier* (VLCC)[43] de 185000 dwt[44]. Les capacités de distillation représentent 790 kb/j. Les capacités de raffinage (715,2 kb/j) se trouvent principalement à Anvers et sont assurées par quatre sociétés. Les deux plus grandes sont les raffineries Total (357 kb/j) et ExxonMobil (298 kb/j). Les approvisionnements sont assurés par le port de Rotterdam et sont acheminés par un pipe-line d'une capacité de 575 kb/j.

Une grande partie de cet approvisionnement national est transporté par pipe-line. Les différents pays européens sont reliés par le *Central European Pipeline System* (CEPS). Ce CEPS est un réseau crée et géré par l'OTAN d'une longueur de 6000 km approvisionnant principalement les bases militaires mais, depuis de nombreuses années, les capacités en surplus sont allouées au secteur civil. Les capacités de stockage de ce réseau sont de 8,2 mb. Une partie des réserves de la Défense est stockée dans ce réseau.

Les capacités de stockage sont réparties sur 40 sites d'une capacité totale de 75 mb. Ces capacités permettent de fournir les industries pour leur fonctionnement normal. Elles incluent également une partie des stocks stratégiques gérés par APETRA.

1.8. La filière pétrolière en Belgique

La filière pétrolière se divise en 2 filières dites « amont » et 2 filières « aval ». Les filières « amont » ne sont actuellement pas (encore?) représentées en Belgique.[45] Il s'agit de la prospection et de l'extraction. Les filières « aval », quant à elles, se retrouvent principalement dans la région d'Anvers pour la partie raffinage ou sont dispersées sur tout le territoire pour la partie distribution.[46] Les dépôts les plus importants se situent à Anvers, Gand, Liège et Feluy.[47] Cette filière « aval » comprend également la filière pétrochimique qui est répartie sur l'ensemble du territoire.

[43] http://www.nauticexpo.fr/prod/general-dynamics-nassco/navire-cargo-petrolier-vlcc-32138-195737.html, consulté le 16 avril 2015.
[44] *deadweight tons,* la capacité maximum d'un navire.
[45] http://geologie.wallonie.be/site/geoprod/page10442.html?template=%2Ftemplates%2Fspw_templates%2Ftpl.eventsDetail&queryPath=%2Fcontent%2Fjahia%2Fgeoprod%2FContentPage_10442%2Fevents%2Fevents%2FContentContainer_27282, consulté le 05 mars 2015.
[46] http://www.euro-petrole.com/re_06_geolocalisation_sites_petroliers.php, consulté le 25 février 2015.
[47] IEA, Energy Supply Security 2014 – Part 2.

2. Concepts liés à l'énergie

La compréhension et l'application de ces concepts sont indispensables dans le cas d'une utilisation rationnelle et réfléchie de l'énergie dans le cadre d'un scénario de développement durable ou d'un scénario de résilience. Leur mauvaise compréhension et leur mauvaise utilisation peuvent en effet engendrer de mauvaises réponses ou des réponses contre-productives.

2.1. Energy Returned on Energy Invested ou ERoEI

L'Energy Returned on Energy Invested (ERoEI or EROEI); Energy Return On Investment (EROI) ou en français TRE (Taux de Retour Énergétique), est le ratio entre la quantité d'énergie délivrée par une source d'énergie donnée et la quantité d'énergie dépensée directement et indirectement pour obtenir cette énergie :

$$\text{ERoEI} = \frac{\text{Quantité d'énergie délivrée}}{\text{Quantité d 'énergie dépensée}}$$

Ce ratio est, de par la multitude de facteurs à prendre en compte, extrêmement délicat à calculer. Le nombre de spécialistes dans ce domaine est très restreint.

Concrètement, pour un litre d'essence, l'ERoEI inclut l'énergie dépensée pour la prospection du gisement, pour les aménagements du site d'exploitation, (voie de communication pour acheminer le matériel dans des endroits forts reculés, par exemple), le forage, l'exploitation, le transport (éventuelle construction d'un oléoduc), le stockage, le raffinage et pour terminer, pour la distribution.

Quand l'ERoEI d'une ressource est égal ou inférieur à un, cette source d'énergie devient un « gouffre d'énergie » et ne peut plus être considérée comme une source d'énergie primaire. D'un point de vue strictement énergétique, quel est en effet l'intérêt de dépenser l'équivalent d'un baril pour en extraire un autre ? Il en est pourtant déjà ainsi de certains carburants synthétiques tels que certains types d'éthanol si l'on y inclut toute la filière nécessaire à son élaboration. Le concept de ERoEI est de plus intimement lié à une donnée de temps. L'ERoEI peut en effet varier, dans un sens comme dans l'autre en fonction des avancées technologiques et de l'épuisement des gisements. Pour un litre d'essence, l'ERoEI n'est pas le même selon qu'il provienne d'un champ pétrolifère libyen, qu'il soit issu d'une plate-forme pétrolière off-shore de Mer du Nord ou d'un gisement de sable bitumineux du grand nord canadien.

2.2. Énergie grise

L'énergie grise, contenu énergétique ou énergie incorporée totale (total embodied energy) d'un produit est définie comme le total des apports énergétiques directs et indirects nécessaires à sa fabrication et à son démantèlement, en ce compris l'extraction des matières premières.[48] À titre d'exemple, la fabrication d'une voiture d'une tonne nécessite l'extraction de l'équivalent de 70 tonnes de matériaux.[49]

[48] Réactif N°59. L'énergie grise ou l'empreinte énergétique des produits.
[49] http://www.ecoconso.be/fr/L-energie-grise,484, consulté 20 mars 2015.

De même, l'énergie nécessaire à la construction de cette même voiture est de plus de 56 GJ, ce qui correspond à l'énergie contenue dans 1,33 tonne de pétrole.[50] Ce terme est fort semblable à l'ERoEI mais s'applique principalement aux matériaux et aux produits.

2.3. Effet rebond

L'effet rebond peut-être défini comme l'augmentation de consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, liées à l'effort, au danger, à l'organisation.[51] Un exemple connu concerne les voitures : les innovations technologiques permettent de concevoir et fabriquer des voitures moins énergivores. Ces gains technologiques permettent aux propriétaires de ces véhicules de diminuer les dépenses en carburant. L'utilisateur sera donc tenté d'utiliser plus son véhicule puisque pour un coût égal, il peut parcourir de plus longs trajets. Dans ce cas et d'un point de vue énergétique, le gain de ces innovations technologiques est donc nul et peut même être négatif.

2.4. Énergie primaire / énergie secondaire

Il importe ici de différencier la nature des différentes formes d'énergie. Les énergies primaires sont extraites ou tirées directement des ressources naturelles, sans aucune transformation. Il en est ainsi du pétrole brut, de la biomasse, de l'énergie hydraulique, de la géothermie, de l'énergie tirée de la fission nucléaire ou de l'électricité produite par des panneaux photovoltaïques.

Les énergies secondaires sont issues de la transformation d'une énergie primaire. Une fois produite, cette énergie doit être transportée, parfois avec de grandes pertes, comme dans le cas de l'électricité, sur de grandes distances.

L'énergie dont dispose le consommateur est appelée énergie finale. Cette énergie finale doit ensuite être transformée en énergie utile (énergie thermique, lumineuse,…).

L'énergie utile fournit le service énergétique recherché comme par exemple la chaleur diffusée par un radiateur, l'intensité lumineuse d'une lampe, etc.

En résumé :

Énergie primaire	x	Rendement de conversion	=	Énergie secondaire
Énergie secondaire	x	Rendement de transport	=	Énergie finale
Énergie finale	x	Rendement d'utilisation	=	Énergie utile

Ce tableau montre qu'il peut donc exister une différence énorme entre l'énergie primaire potentiellement disponible et l'énergie utile effectivement disponible. Il est extrêmement important de tenir compte de cette différence pour effectuer des choix visant justement à économiser de l'énergie. Des solutions qui semblent appropriées pour certaines utilisations sont en fait des gouffres énergétiques. Il en est ainsi du chauffage électrique domestique largement promu et répandu dans des pays tels que la France dont la production électrique repose essentiellement sur l'énergie nucléaire.

[50]HABRAN Olivier & LESCROART Ralph. Flux d'Energie Grise.
[51]SCHNEIDER François. L'effet rebond.

Un radiateur électrique possède une très faible efficacité, il dégrade de l'énergie de très haute qualité pour produire de la chaleur de basse qualité.

2.5. Éxergie ou qualité de l'énergie[52]

Le ratio de l'exergie (ou énergie utile) X sur l'énergie E fournie initialement est appelé indice exergétique (X/E), et exprime une mesure de la qualité ou du degré d'utilité d'une énergie. Les physiciens distinguent la qualité des formes d'énergies, selon leur capacité à créer un service utile. Ce concept d'exergie est relativement difficile à expliquer, puisqu'il fait appel à des notions de thermodynamique. Cette notion sera donc illustrée à l'aide d'un exemple.

L'énergie contenue dans un litre de mazout peut être dégradée de plusieurs manières. La première est une dégradation « brutale ». C'est par exemple le cas dans une chaudière : le carburant est brûlé et fournit une certaine quantité de chaleur utilisée pour chauffer une certaine quantité d'eau à une température donnée. Une fois dissipée, cette énergie n'a finalement fourni que de la chaleur. La seconde manière consiste à dégrader cette énergie contenue dans ce litre de mazout en « cascade » comme par exemple dans une unité de cogénération qui fournira de la chaleur, éventuellement de la vapeur, mais également de l'électricité qui pourra être utilisée par exemple pour de l'éclairage.

Ce concept d'exergie est lié à l'entropie : l'exergie est consommée au cours des processus spontanés, ce qui revient à dire que l'énergie est dégradée ou « perd en qualité » lors de ces processus spontanés. L'entropie correspond à la transformation de l'énergie en chaleur.

[52]Faut-il passer de l'énergie à l'exergie? - Sciences - France Culture. 05 juillet 2013. [émission radiophonique] http://www.franceculture.fr/player/reecouter?play=4658440, consulté le 05 mai 2015.

3. Le pic pétrolier et ses effets

3.1. Généralités

Le pic pétrolier (*peak oil* en anglais) désigne le sommet de la courbe de production d'un bassin pétrolier ou d'une zone pétrolifère. Par extension, ce terme fait référence au moment où la production mondiale plafonnera en volume avant de commencer à décliner.[53]

Parks en donne une définition « économique » : « *Le pic pétrolier correspond au moment où la courbe de la demande de pétrole croise la courbe d'offre pour s'établir définitivement au-dessus de celle-ci.* ».[54] Cette définition n'est valable que si le prix reste constant, ce qui n'est pas le cas. Généralement, les courbes de l'offre et de la demande se suivent. Si ce n'était pas le cas, il y aurait pénurie ou surplus d'offre. Si la production de pétrole diminue, la demande diminuera aussi, celle-ci étant détruite par la hausse des prix.

Colin Campbell en donne une définition plus « géologique » : « *The term Peak Oil refers to the maximum rate of the production of oil in any area under consideration, recognising that it is a finite natural resource, subject to depletion.* »

Le pic de production mondial 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.[55]

L'avènement du pic pétrolier ne signifie en aucun cas la fin du pétrole. « *L'âge de pierre ne s'est pas terminé par manque de pierres. L'âge du pétrole ne s'achèvera pas avec le manque de pétrole* ».[56] Celui-ci reste en effet présent en grandes quantités. Il s'agit de la diminution des possibilités de se fournir en pétrole conventionnel à bas prix alors que la demande mondiale ne fera que croître si les prix restent bas.[57] « *Le problème réside d'après Total dans les possibilités d'augmentation de la production et non pas dans la quantité de ressources. (...) Seuls des productions complémentaires dans des contextes techniques difficiles permettront une quantité de production en ligne avec la demande ; seuls des prix élevés permettront les investissements nécessaires au développement et la mise en production de ressources complémentaires* ».[58] En d'autre termes, le pic pétrolier signifie bien plus la fin du pétrole bon marché que la fin du pétrole en lui-même.

Pour des raisons géologiques, lors de l'exploitation d'un puits, la production de pétrole augmente progressivement jusqu'au moment où la moitié des réserves extractibles a été produite. La production suit alors un plateau de production puis décline ensuite progressivement jusqu'à zéro.

La production d'un gisement, d'une région de production, et finalement de la planète suit le même schéma, le déclin pour la planète étant attendu lorsque environ la moitié des

[53] http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/pic-petrolier, consulté le 25 février 2015.
[54] PARKS Olivier. L'avenir du pétrole. p.69.
[55] ASPO. Pétrole, le début de la fin.
[56] Cheikh Yamani, ancien ministre saoudien du Pétrole, cité par Charles-Emmanuel HAQUET et Emmanuel LECHYPRE, L'Express/L'Expansion, http://lexpansion.lexpress.fr/actualite-economique/les-revolutions-de-l-apres-petrole_1334956.html, consulté le 25 février 2015.
[57] Dans un contexte économique stable et optimal.
[58] MAURIAUD Pierre. Tensions énergétiques, réalités des plateaux de production et conséquences possibles.

réserves extractibles ont été produites. En ce qui concerne les puits et gisements individuels, la courbe est davantage asymétrique et le déclin a souvent lieu avant que ne soit produite la moitié des réserves extractibles.

La figure 4 illustre le pic de production en Europe Occidentale.

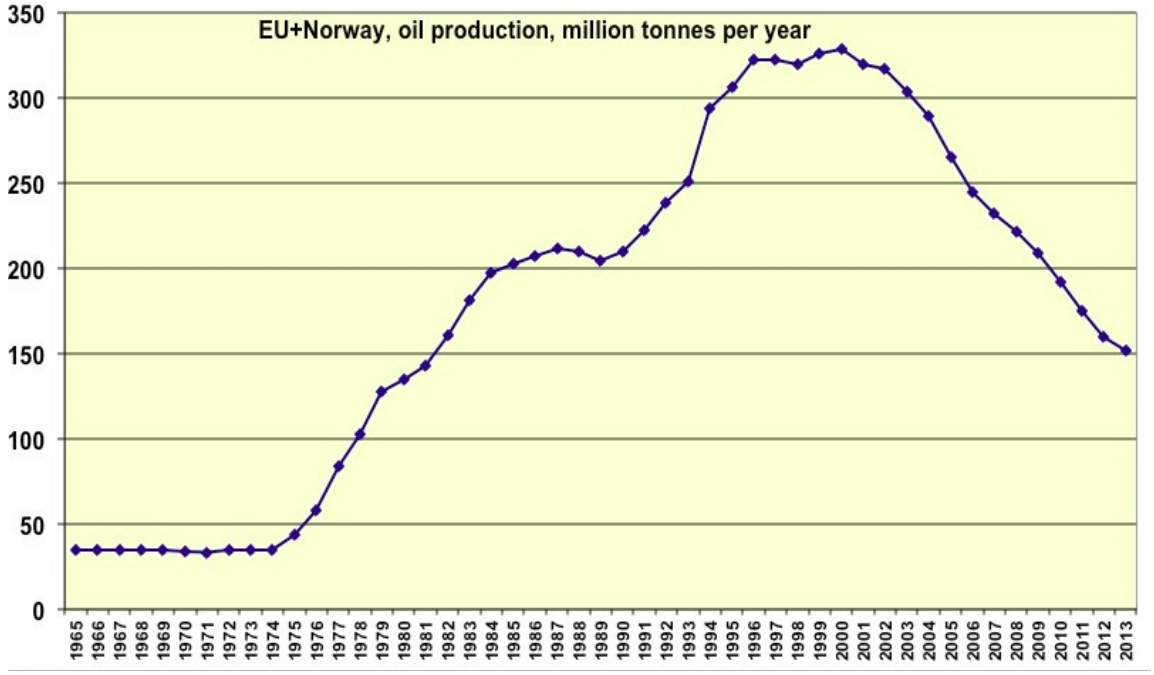


Figure 4: Production pétrolière en Europe occidentale (UE+Norvège). Pic en 2000. (Source : BP statistical review 2014, www.manicore.com)

En ce qui concerne les hydrocarbures extraits par fracturation hydraulique (shale oil[59] et gas), le déclin peut être observé dès le premier mois de production et atteint 80 à 90 % dans les deux ans, la production pouvant continuer pendant plusieurs années. Il est à noter cependant que ce type de puits peut être fracturé plusieurs fois, ce qui permet de relancer la production.

Le concept de pic fut théorisé et validé pour le pétrole par le géologue Marion K. Hubbert, ancien cadre de Shell et de l'USGS (*United State Geological Survey*) qui prédit en 1956 grâce à des méthode statistiques et à des courbes de production de gisements pétroliers typiques que le pic de production pétrolière des États-unis serait atteint entre 1966 et 1972. Rétrospectivement, ce pic de production fut dépassé en 1970.

Mis à part une fois, en 1998 où apparaît un paragraphe intitulé « *the pessimists'view* »[60], l'AIE[61] refusait d'exprimer cette éventualité au niveau mondial.[62] Cependant, depuis la parution du *World Energy Outlook 2010*, l'AIE reconnaît implicitement que le pic pétrolier du pétrole conventionnel a été atteint.

[59]Le terme anglais « Shale oil » a été traduit par « pétrole de schiste » en français. D'un point de vue géologique, cette traduction manque cependant de précision. Le terme anglais sera donc préféré dans ce travail, voir annexe1.7.

[60]IEA, World Energy Outlook 1998, p.95.

[61]L'AIE est l'Agence Internationale de l'Énergie. Le terme anglais est International Energy Agency (IEA). Le terme français sera préféré pour éviter toute confusion entre l'IEA et l'EIA qui est l'Energy Information Administration américaine.

[62]« How a 22-year-old student uncovered peak oil fraud », http://www.theecologist.org/News/news_analysis/437079/how_a_22yearold_student_uncovered_peak_oil_fraud.html, consulté le 11 mars 2015.

Le graphique suivant est tiré du WEO 2010. Il permet de voir que, selon l'AIE, le pic de production de pétrole conventionnel aurait été atteint en 2006, la somme des courbes bleu foncé (Crude Oil : currently producing fields), bleu clair (Crude Oil : fields yet to be found) et grise (Crude Oil : fields yet to be developed) étant par la suite inférieure à la production atteinte à cette date. L'AIE envisage donc pour le futur un plateau en ce qui concerne la production de ce type de pétrole. La surface bleu clair représentant les champs qui doivent être trouvés pour assurer ce plateau peut être interprétée comme étant un facteur d'équilibrage. Il s'agit de *projections* dans le futur de ce qu'il faudrait découvrir pour empêcher la production déclinante des gisements de pétrole conventionnel actuellement en production de s'accentuer. Ce graphique permet également de montrer le peu de potentiel procuré par l'exploitation des gisements de pétroles « non-conventionnels » (Unconventional oil).

Il est également important de remarquer que les prévisions de l'AIE excluent une forte augmentation de la production journalière, celle-ci restant en deçà des 100 Mb/j à l'horizon de 2035. En effet, la méthode de calcul est basée sur la demande supposée à cette date, l'offre représentée sur ce graphique étant supposée suivre si les investissements suffisants sont consentis. Cette courbe est donc autant une courbe de l'offre qu'une courbe de la demande.

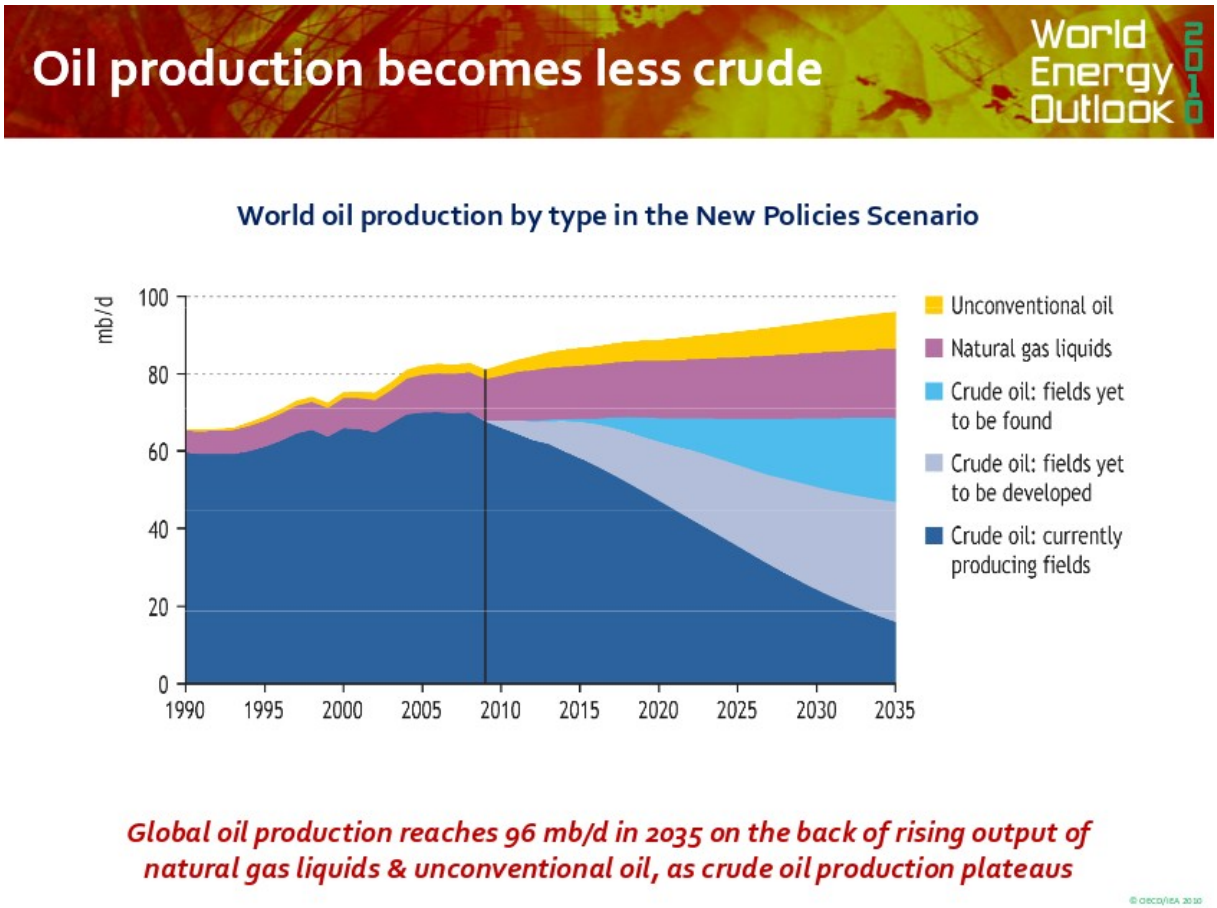


Figure 5 : WEO 2010 – Keygraphs, p.7.

Pour effectuer ses prévisions, l'AIE se base sur différents scénarios. Le « *New Policies Scenario* » correspond à une hausse de la demande en pétrole de 1,2 % par an. Cette augmentation correspond à une hausse de 36 % entre 2008 et 2036.

Le « *Current Policies Scenario* » correspondant lui à une hausse annuelle de la demande de 1,4 %. Le graphique correspond donc au scénario le plus favorable.

En utilisant les méthodes de M.K.Hubbert, de nombreux acteurs du monde pétrolier ont tenté d'estimer la date du pic de production mondial tous liquides confondus. Cette tâche est cependant ardue pour plusieurs raisons. La première, la plus évidente, c'est que l'état des réserves ne peut être connu précisément. Plus grave, celles-ci semblent manipulées, comme mentionné précédemment.[63] La deuxième raison provient du fait que l'activité économique tient un rôle majeur dans ces estimations. En effet, plus l'activité économique est importante, plus la demande en énergie augmente. Or, depuis 2008 et la crise des subprimes, la demande mondiale de pétrole ainsi que les prix du baril diminuent, rendant les prévisions alarmistes des partisans d'un pic proche ou dépassé moins audibles. La troisième raison est qu'il existe différents liquides considérés, pétroles conventionnels, non-conventionnels et synthétiques, qui obéissent à des contraintes techniques et économiques différentes.

Il est peu vraisemblable que ce pic se matérialise de manière claire. Plus probablement, ce pic prendra la forme d'un plateau ondulant, rendant de ce fait son dépassement difficilement décelable. Ce dépassement ne pourra donc être constaté qu'à posteriori.

Selon l'AIE, la consommation d'énergie mondiale va continuer à croître inexorablement.[64] Les capacités de production devront donc continuer à croître, parallèlement aux autres sources d'énergie, ce qui semble compromis : « *Afin d'accroître la production mondiale de pétrole jusqu'à l'horizon 2025-2030, tout en compensant le déclin de la production existante, Total table sur la mise en production de pas moins de 45 millions de barils par jour (Mb/j) de capacités nouvelles par l'ensemble de l'industrie. 45 Mb/j représentent un peu plus de quatre fois la production de l'Arabie Saoudite, ou plus de la moitié de la production actuelle de pétrole brut (83 Mb/j) !* »[65]

Ces chiffres sont comparables à ceux avancés par Peter Voser, le CEO de Royal Dutch Shell : *« Oil output from fields in production declines by 5 per cent a year as reserves are depleted, so the world needed to add the equivalent of four Saudi Arabias or 10 North Seas over the next 10 years just to keep supply level, even before much of an increase in demand. ».*[66]

Une part non négligeable de ces besoins pourraient être comblés à l'avenir par du gaz et du charbon, les réserves de ces matières étant encore relativement importantes. Cependant, cette utilisation irait à l'encontre des objectifs de décarbonatation[67] des États et poserait d'énormes problèmes de pollution.

[63]Point 1.4.2.4. « Sources et fiabilités des données »
[64]« Energie : l'AIE avertit d'un avenir "terrible" sans changement de cap », Belga, 19 octobre 2011.
[65]Matthieu Auzanneau, http://petrole.blog.lemonde.fr/2012/08/21/pic-petrolier-deux-vice-presidents-de-total-repondent-a-oil-man/, consulté le 11 mars 2015.
[66]Shell chief warns of era of energy volatility, Financial Time, 21 septembre 2011, http://www.ft.com/intl/cms/s/0/bbdda1c8-e485-11e0-92a3-00144feabdc0.html?siteedition=uk#axzz3UGbiPVSR, consulté le 11 mars 2015.
[67]Action d'enlever à une substance le dioxyde de carbone qu'elle contient.

3.2. L'effet de la reine rouge[68] *: « Ici, il faut courir le plus vite possible pour rester sur place »*

Le phénomène que le biologiste américain Leigh Van Valen a nommé « l'effet de la reine rouge » décrit un environnement qui subit une évolution plus rapide que les adaptations adoptées par une société.

La production actuelle dépend principalement des champs pétroliers appelés champs pétroliers géants.[69] Un champ géant est appelé comme tel lorsqu'il possède des réserves ultimes recouvrables (URR)[70] de plus de 0,5 Gb. Sur plus de 47500[71] champs en activité, les 507 plus grands représentaient 65 % des URR globales. En 2005, un pourcent des puits en activité fournissaient plus de 60 % de la production. La majorité d'entre eux ont été découverts il y a plus de 50 ans et, sur les 331 champs de la base de données d'Uppsala[72], 261 sont en déclin. Dans les années 80, 15 champs avaient une capacité de production de 1 mb/j. À l'heure actuelle, seuls 4 peuvent encore produire cette quantité.[73] Parmi ceux-ci, 3[74] se trouvent dans le Golfe Persique. Vu leur importance, l'étude de leur déclin qui est l'objet du travail effectué par Robelius en 2007, est un élément indispensable pour anticiper le pic pétrolier. Selon ses conclusions celui-ci interviendra entre 2008 et 2018. Les rapports de l'OPEP vont dans le même sens.[75] Dans la version 2008 du WEO de l'AIE, 798 champs pétroliers furent analysés aux quatre coins du monde. 479 d'entre eux avaient un taux de déclin moyen de 5,8 %[76]. Pour Olivier Rech, qui fut chargé des prévisions pétrolière lors de la rédaction de cette version 2008, la production entrera probablement en déclin avant 2020, voire peu après 2015.[77]

Selon l'analyse de Mark Lewis, l'ancien directeur du service recherche d'énergie de la Deutsche Bank, les taux de déclin de 1600 gisements, qui fournissent 70 % de la production totale actuelle montrent un taux de déclin de 6,2 %, le double des chiffres donnés par l'AIE pour 2035.[78] Cette analyse provient d'une réunion qui eut lieu le 10 décembre 2013 entre des responsables financiers, d'anciens ministres ainsi que des responsables militaires.[79]

Or, ces champs pétroliers géants sont primordiaux pour assurer l'approvisionnement mondial. Comme l'écrit M. Allègre, « *Les hydrocarbures conventionnels n'existent que parce qu'ils sont concentrés par la nature dans des pièges géologiques où ils constituent*

---

[68]Métaphore faisant référence à la Reine Rouge dans « *De l'autre côté du miroir »,* le second tome des aventures d'*Alice au pays des merveilles* de Lewis Carroll. La reine rouge dit : « ici, il faut courir le plus vite possible pour rester sur place». Tiré de RODDIER François, Le syndrome de la reine rouge.

[69]La liste des 20 plus importants champs et leur localisation se trouve en annexe 5.

[70]L'URR est égal à la somme de la production passée, du niveau de plateau prolongé et de la production en déclin, ROBELIUS Fredrik. Giant Oil Fields -The Highway to Oil. Giant Oil Fields and their Importance for Future Oil Production.

[71]ROBELIUS. Op.Cit.

[72]Qui a également servi de base au travail de Robelius

[73]ROBELIUS Fredrik. Giant fields oil in the world.

[74]Ghawar (SA), Kirkuk (IQ), Burgan Greater (KW). Le quatrième, Cantarell se situant au Mexique.

[75]« Pétrole : la production des pays de l'Opep va diminuer d'ici cinq ans », Le Figaro du 6 novembre 2014, http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2014/11/06/20002-20141106ARTFIG00223-petrole-la-production-des-pays-de-l-opep-va-diminuer-d-ici-cinq-ans.php, consulté le 15 avril 2015.

[76]IEA, World Energy Outlook 2008. p.240.

[77]AUZANNEAU Matthieu . Or noir : la grande histoire du pétrole.

[78]« US Army colonel: world is sleepwalking to a global energy crisis », The Guardian du 17 janvier 2014, http://www.theguardian.com/environment/earth-insight/2014/jan/17/peak-oil-oilandgascompanies, consulté le 15 avril 2015.

[79]Transatlantic Energy Security Dialogue London--Washington du 10 Décembre 2013. Le compte-rendu est disponible ici : https://steadystatecollege.wordpress.com/2014/01/10/transatlantic-energy-security-dialogue-dec-10-2013/, consulté le 15 avril 2015.

des gisements. Dans un bassin sédimentaire donné, les gros gisements sont découverts les premiers et la loi de répartition statistique des gisements est telle que les gisements les plus petits, qui sont mis en production au fur et à mesure de la montée du prix, font peu varier le volume des réserves ultimes, ce qui veut dire que l'ultime (l'aire sous la courbe de production annuelle) varie assez peu avec les conditions économiques (le prix des hydrocarbures). Il en est de même à l'échelle mondiale à partir du moment où la quasi-totalité des zones potentielles est explorée et où la technique permet d'aller traquer le pétrole dans ses derniers retranchements (offshore profond). Aujourd'hui, on est proche d'une telle situation pour les hydrocarbures conventionnels. ».[80]

Les compagnies pétrolières dépensent pourtant des sommes astronomiques en recherche de nouveaux gisements. En 2013, selon les estimations de l'IFPEN[81] 100 milliards de dollars ont été dépensés en exploration, cinq fois plus qu'en 2003. Les zones les plus faciles d'accès ayant déjà été explorées, il faut maintenant chercher dans des zones plus lointaines ou plus difficiles d'accès. En 2014, ExxonMobil et Rosneft ont dépensé 700 millions de dollars pour un seul puits d'exploration en Arctique. En 2013, 16,7 milliards de barils équivalent pétrole, incluant pétrole et gaz naturel confondus, ont été découverts. En 2010, les quantités découvertes étaient de 40 milliards.[82] Durant les années 90, des problèmes semblables liés au peu de résultats obtenus lors des prospections forcèrent les grandes sociétés pétrolières à de grandes opérations de fusion-acquisition.[83]

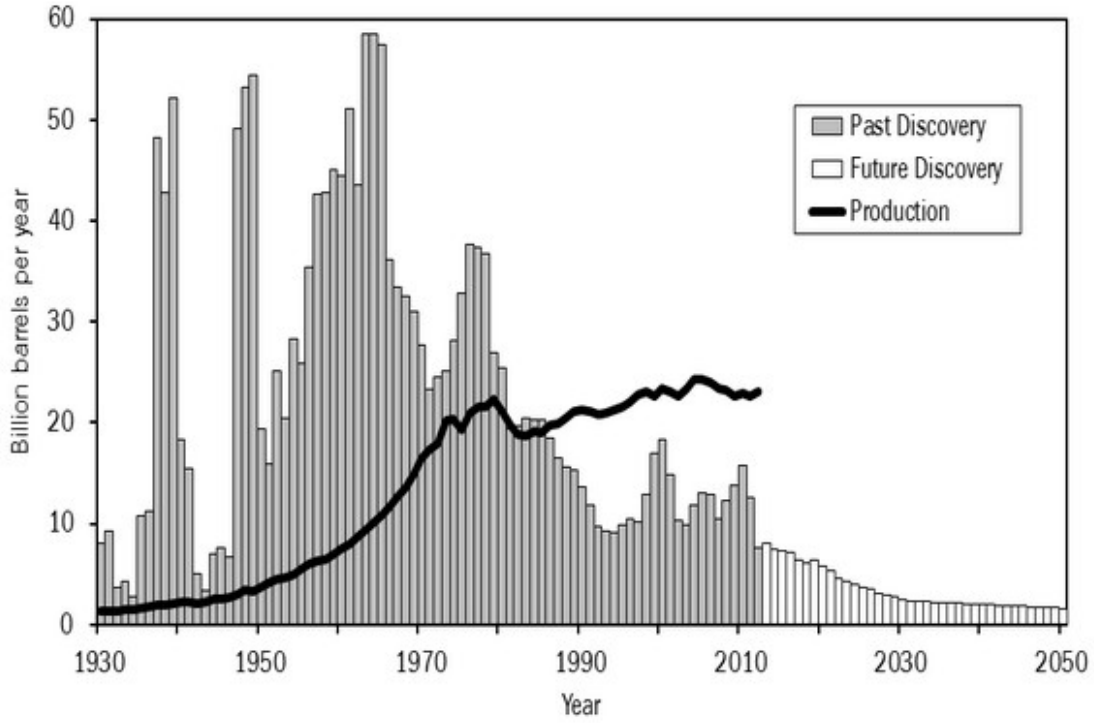


Figure 6: World Conventional Oil Discoveries and production 1930 - 2012 (Source : Colin Campbell, ASPO, 2012)

[80]Cité par BROCORENS Patrick & Al. Op.Cit. p. 69.
[81]L'IFP Energie Nouvelle est l'ancien Institut Français du Pétrole (IFP).
[82]« Les compagnies pétrolières peinent à découvrir de nouvelles réserves », Les Échos du 15 décembre 2014, http://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/0203999006177-les-compagnies-petrolieres-peinent-a-decouvrir-de-nouvelles-reserves-1074912.php?7wrpruGEQlDzSuMC.99, consulté le 14 avril 2015.
[83]AUZANNEAU Matthieu . Or noir : la grande histoire du pétrole. p.542.

Les prévisions de l'AIE reposent en partie sur le fait que de nombreux gisements doivent être découverts dans le futur pour assurer une production au moins constante (« crude oil : field yet to be discovered » de l'illustration 5). Or, comme le rappelle Slingerland, « *Il n'existe plus dans le monde d'endroits « oubliés » où l'on pourrait encore trouver du pétrole et il n'existe nulle part de quantités substantielles de pétrole pouvant être exploitées rapidement à faible coût.* ».[84]

« *Drill, Baby, Drill* », le slogan de Sarah Palin, la candidate républicaine lors des élections américaines de 2008 résume donc parfaitement la situation : en vertu de la théorie des rendements décroissants, pour garder une production constante, il faudra à l'avenir forer de plus en plus en plus de puits qui coûteront de plus en plus cher et qui seront de moins en moins productifs. L'astrophysicien François Roddier compare cette situation à un coureur sur un tapis roulant : pour rester sur place, il doit courir de plus en plus vite.[85]

[84]SLINGERLAND Oskar & VAN MOURIK Maarten. La crise incomprise – Quand le diagnostic est faux, les politiques sont néfastes. p.100.
[85]RODDIER François, cité par AUZANNEAU, http://petrole.blog.lemonde.fr/2013/10/30/francois-roddier-par-dela-leffet-de-la-reine-rouge/, consulté le 14avril 2015.

3.3. Date de dépassement du pic pétrolier

Il n'existe aucun consensus quant à la date de dépassement du pic pétrolier mondial. Les raisons en sont en partie expliquée ci-avant. Le tableau qui suit reprend les estimations de certains acteurs pertinents du secteur.[86] Ce tableau date de 2007 et ne tient donc pas compte des évolutions dues aux shale oil et gas. Il semblerait cependant que ces évolutions ne modifient que peu les prévisions.

Source	Date estimée	Source	Date estimée
Experts individuels		**Gouvernements**	
A. Bakthiari	2006-2007	Néerlandais	Après 2030
M. Simmons	2007-2009	Français	2020-2030
C. Skrebowski	2007-2010	**Société de conseil**	
K. Deffeys	2005-2009	IHS Energy	2011-2020
J. Laherrère	2010-2020	Douglas Westwood	2010-2020
P. Odell	2060	Energy Files	2010-2020
B. Pickens	2005-2007	PFC Energy	2014-2025
M. Lynch	Après 2030	**Organisations de conseil en énergie**	
C. Campbell	2010	World Energy Council	Après 2020
S. Al-Husseini	2015	Energy Research Center Netherland	2010-2035
J. Gilbert	2010	CERA	Après 2020
T. Petrie	Avant 2010	ASPO	2010
Compagnies pétrolières		IEA	Vers 2020
CNOOC	2005-2010	**Scénarios d'investissement différé (producteurs)**	
Total	2020-2025	IEA	Après 2030
Shell	Après 2025	**Autres organisations**	
Exxon - Mobil	Après 2030	Volvo	2010-2015
BP	« We can't know »	Ford	2005-2010

3.4. Les sources alternatives

Les sources alternatives d'énergie sont relativement nombreuses. On peut citer le nucléaire, l'hydroélectricité, le gaz, le charbon, les énergies renouvelables telles que l'éolien, le solaire, la géothermie, l'hydrogène, l'énergie marémotrice.

[86]GRAS Alain. Le choix du feu : aux origines de la crise climatique. p.241.

Cependant, aucune ne possède les qualités du pétrole : facilité de transport et de stockage ainsi que sa haute teneur en énergie. De nombreux auteurs utilisés lors de la rédaction de ce travail tels Heinberg, Parks ou encore Jancovici en parlent dans leurs ouvrages. Le pétrole permet de plus d'obtenir différents produits issus de son raffinage (essence, kérosène, diesel,…) et est adapté à de multiples utilisations telles que le transport, la chauffage, la pétrochimie, etc.

Le défi, pour le futur, sera tant les économies d'énergies que, dans une moindre mesure, l'adoption de nouvelles sources alternatives. Pour Nicolas Meilhan, « *L'énergie du futur a donc toutes les chances d'être celle que nous ne consommerons pas.* ».[87]

3.5. Le « *Shale Oil* », une « solution miracle » ?

Depuis quelques années, le *shale oil* semble être le joker de nos sociétés en ce qui concerne la fourniture d'énergie. La fièvre de ces dernières années doit cependant être tempérée. Outre quelques désillusions liées à la prospection comme en 2014 où les ressources de *shale oil* récupérables en Californie ont été revue à la baisse de 96 %[88], les réserves ne permettront que modestement de combler les besoins. Pour les États-Unis, l'EIA elle-même prévoit un pic de production pour 2016 et un déclin pour 2020.[89] La récente baisse des prix, impliquant un gel de nombreuses exploitations devrait cependant repousser cette échéance.

Les derniers chiffres publiés par l'EIA donnent des réserves de 33 Gb. Ce chiffre est en hausse de 9,3 % par rapport aux chiffres de 2012.[90] Ces réserves placent les USA en dixième place des réserves mondiales prouvées de pétrole[91] et en deuxième place en ce qui concerne le *shale oil* en particulier[92]. La consommation annuelle intérieure est de 6,935 Gb.[93] En théorie, les USA pourraient donc être autosuffisants pendant approximativement 5 ans à consommation constante s'il était possible d'extraire le pétrole à la vitesse souhaitée.

Les réserves non prouvées mondiales de *shale oil* sont estimées, par l'EIA, toujours, à 345 Gb. Or, la consommation journalière mondiale est d'environ 90 mb/j. Pour le *shale oil* toujours et en l'état, les réserves représentent donc en théorie 10 ans de consommation au rythme actuel.

La particularité des gisement de *shale oil* est que les puits produisent peu, de l'ordre de 600 à 700 b/j et que la fracturation nécessite 100 à 200 fois plus de puits que l'extraction de pétrole conventionnel. Ces chiffres de production sont à comparer aux milliers de barils produits quotidiennement par les gisements offshores. Cette production de *shale oil* est atteinte dès le début de l'exploitation et décroît rapidement. Après un an, le rendement atteint 200 b/j et décroît ensuite lentement.[94] Il faut donc, pour garder une production totale au minimum constante, forer perpétuellement de nouveaux puits. Cette contrainte présente cependant un avantage : la flexibilité et la rapidité de mise en production.

---

[87]MEILHAN N. Quelle est l'énergie du futur ?, https://leseconoclastes.fr/tag/energie/, consulté le 10 mars 2015

[88]« U.S. officials cut estimate of recoverable Monterey Shale oil by 96% », L.A. Times du 20 mai 2014, http://www.latimes.com/business/la-fi-oil-20140521-story.html

[89]EIA, Annual energy outlook 2014 with projections to 2040. p.IF-13.

[90]EIA, U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, 2013

[91]BP, BP Statistical Review of World Energy, 63rd Edition.

[92]EIA, Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States.

[93]http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=US#pet, consulté le 16 avril 2015.

[94]CORNOT-GANDOLPHE Sylvie. La révolution des pétroles de schiste aux États-Unis.

Il existe également d'autres contraintes liées au *fracking* : d'énormes quantités d'eau, ce qui peut poser problème comme récemment en Californie[95], de grandes quantités de sable ainsi que pléthore de produits chimiques dont certains particulièrement dangereux[96] sont nécessaires.

Aux États-Unis, ces derniers mois, la baisse des prix du baril a conduit à la fermeture de nombreux puits et à l'arrêt de nombreux projets,[97] comme le montre le graphique suivant, établi par Baker Hughes, un des leaders mondiaux de fourniture de services pétroliers.[98]

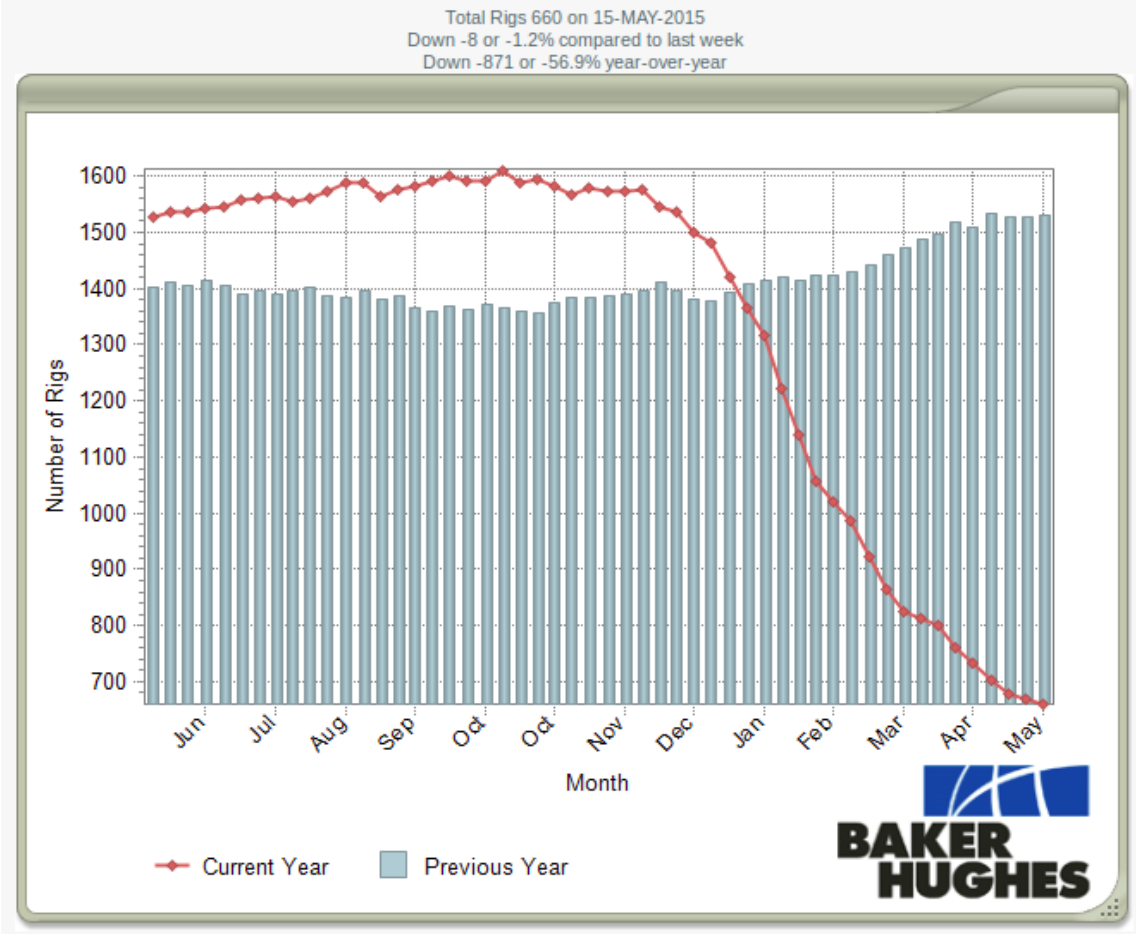


Figure 7: U.S. Rig Count - Year to Year Comparison for Oil (Source : Baker Hughes)

Au sujet des *shale oil* et des sables bitumineux, cette situation fait dire au géologue britannique Richard Miller, ancien employé de BP : « *We're like a cage of lab rats that have eaten all the cornflakes and discovered that you can eat the cardboard packets too. Yes, we can, but... Tight oil may reach 5 or even 6 million b/d in the US, which will hugely help the US economy, along with shale gas. Shale resources, though, are*

[95]« Exclusive: California used 70 million gallons of water in fracking in 2014 », Reuter, 3 avril 2015, http://www.reuters.com/article/2015/04/03/us-california-drought-fracking-exclusive-idUSKBN0MU01M20150403, consulté le 16 avril 2015.
[96]U.S. House of Representatives Committee On Energy And Commerce Minority Staff. Chemicals used in hydraulic fracturing.
[97]« Word of Oil Find Near Gatwick Excites Britain », The New York Times du 9 avril 2015, http://www.nytimes.com/2015/04/10/business/energy-environment/word-of-oil-find-near-gatwick-excites-britain.html?_r=2, consulté le 16 avril 2015.
[98]http://www.petrostrategies.org/Links/service_companies.htm, consulté le 9 avril 2015.

inappropriate for more densely populated countries like the UK, because the industrialisation of the countryside affects far more people (with far less access to alternative natural space), and the economic benefits are spread more thinly across more people. Tight oil production in the US is likely to peak before 2020. There absolutely will not be enough tight oil production to replace the US' current 9 million b/d of imports. »[99]

Début avril, l'investisseur UK Oil and Gas Investments (UKOG) annonçait la découverte d'un gisement de plus de 100 milliards de barils de pétrole non-conventionnel près de l'aéroport de Gatwick[100], représentant « *[peut-être] la plus grande découverte de ces 30 dernières années* ». Des études complémentaires doivent cependant être menées pour confirmer le potentiel de cette découverte.

3.6. Export land effect ou export land model[101]

Le modèle des pays exportateurs décrit le déclin des exportations de pétrole d'un pays confronté à son pic de pétrole et qui doit dans le même temps faire face à une augmentation de sa consommation intérieure.

Il est important de tenir compte de ce facteur pour les pays importateurs. Ces pays importateurs ne consomment que la fraction non utilisée des pays producteurs, ce que ceux-ci exportent. À partir du moment où la production plafonne, c'est à dire au moment du pic pétrolier, la quantité disponible sur le marché déclinera bien plus rapidement que la production totale. Il est donc bien plus important, pour un pays importateur, de surveiller les exportations mondiales totales que la production totale mondiale.

Lorsque les exportations de pétrole atteignent un maximum, les prix du baril augmentent, ce qui permet aux économies intérieures de pays exportateurs d'être en expansion alors que les économies des pays importateurs auront tendance à être en difficulté. Les pays exportateurs, auront tendance à favoriser leurs exportations, garantes de rentrée d'argent, même après que leur pic de production soit passé et cela tant que les exportations nettes restent positives. Or, une fois leur pic de production passé, la demande intérieure a augmenté et leur production est en déclin. La part que ces pays pourront et voudront exporter sera donc en baisse et cette baisse des exportations sera supérieure au taux de déclin de la production. En fin de compte, cet ancien pays producteur devient importateur de pétrole. Si ce phénomène apparaît simultanément dans plusieurs pays exportateurs, le déclin accéléré des exportations frappera principalement les pays importateurs de pétrole, de par une diminution des exportations totales.

[99]« Former BP geologist: peak oil is here and it will 'break economies' », The Guardian du 23 décembre 2013, http://www.theguardian.com/environment/earth-insight/2013/dec/23/british-petroleum-geologist-peak-oil-break-economy-recession, consulté le 14 avril 2015.
[100]« GB: découverte de pétrole près de Gatwick », Le Monde du 09 avril 2015, http://www.lefigaro.fr/flash-eco/2015/04/09/97002-20150409FILWWW00165-gb-decouverte-de-petrole-pres-de-gatwick.php, consulté le 14 avril 2015.
[101]BROCORENS Patrick. Understanding the Decline of Global Oil Exports.

4. Lien entre prix du pétrole et économie

La thèse centrale du livre de Slingerland et Van Mourik est que la crise de 2008 est une crise énergétique et que les dérèglements financiers n'en auraient été que des déclencheurs. Un rapport de la banque Natixis paru en août 2014 va dans le même sens.[102] Pour Auzanneau, analysant les données d'Olivier Rech, ancien responsable du pétrole à l'Agence internationale de l'énergie, il est possible de relier la dette des États aux dépenses effectuées pour les dépenses d'énergie. En effet, « *nous [les pays Européens] fabriquons de la croissance strictement à crédit, crédit qui coûte ce que nous coûte l'énergie importée nécessaire pour faire tourner la boutique.* ».[103]

Le PIB est lié au prix de l'énergie : une énergie chère implique un ralentissement de la croissance et donc du PIB.[104] Cela peut se comprendre par le fait que la majorité du pétrole consommé dans les pays occidentaux est utilisée pour le transport, le chauffage domestique, l'agriculture ainsi que dans une multitude de domaines tels que la pétrochimie.

Les coûts de transports, dans l'absolu, peuvent ne représenter qu'un petite part des marchandises importées par voie maritime[105] mais, en ce qui concerne les transports routiers ou aériens[106], par exemple, le prix est relativement important, d'autant qu'il peut intervenir plusieurs fois, même dans le cas de produits manufacturés « localement ».[107] Les coûts en carburant interviennent pour près de 24 % dans le coût d'exploitation d'un transport longue distance pour un camion de 40 tonnes.[108] Les transports personnels, le chauffage ainsi que les frais liés à l'alimentation et à la vie quotidienne en général interviennent également, puisque des dépenses accrues dans ces domaines impactent le pouvoir d'achat et donc le PIB. Pour Slingerland & Mourik, c'est un tel phénomène qui a déclenché la crise de 2008, le prix du pétrole étant élevé, les ménages ont dû augmenter leurs dépenses, ont de ce fait différé le paiements de leurs prêts hypothécaires, induisant, par effet domino la chute de plusieurs grandes banques américaines.[109] Dans ce cas précis, des causes structurelles spécifiques liées au système financier et économique américain entrent également en jeu.

[102]NATIXIS. Et si la crise de 2008-2009 avait été aussi déclenchée par un choc pétrolier?
[103]« Croissance = Dette = Facture énergétique ? », http://petrole.blog.lemonde.fr/2013/04/11/croissance-dette-facture-energetique/, consulté le 11 mars 2015.
[104]PARKS Olivier. Op.Cit.. p.122.
[105]De l'ordre de 2 % du prix pour les produits manufacturés et de l'ordre de 8 % pour les produits pétroliers. ROYER Pierre. Géopolitique des mers et des océans. p.47.
[106]Au plus fort de la crise, les coûts liés aux dépenses en carburant ont dépassé 50 % des coûts d'exploitation. OACI, La hantise du carburant.
[107]Voir exemple donné plus loin par Philippe Mirabel.
[108]Données pour 2014. http://www.cnr.fr/Indices-Statistiques/Longue-distance-40T/Referentiel-prix-de-revient, consulté le 22 avril 2015.
[109]SLINGERLAND Oskar & VAN MOURIK Maarten Op. Cit. p.18

Afin d'éviter une récession, le prix du pétrole doit respecter trois conditions.[110] Les valeurs indiquées ci-dessous varient cependant selon les auteurs :

- il doit exister une proportion limite du PIB consacrée à l'achat de pétrole. Ces dépenses ne peuvent dépasser 4 % ;
- la volatilité des prix doit rester limitée. Les variations de prix du pétrole doivent être inférieures à 50 % sur une année de date à date ;
- le prix du pétrole ne doit pas conduire à une baisse de la demande supérieure à 0,8 % du PIB par an.

Dans le graphique suivant, trois zones de risques, correspondant à la part du PIB consacrée à l'achat de pétrole sont matérialisées. La ligne rouge délimite une part du PIB dédiée au pétrole de 6 %, la ligne orange se rapporte à une part du PIB dédiée au pétrole de 4 %. Les flashs orange signalent une récession. Ces valeurs sont données pour l 'économie américaine.

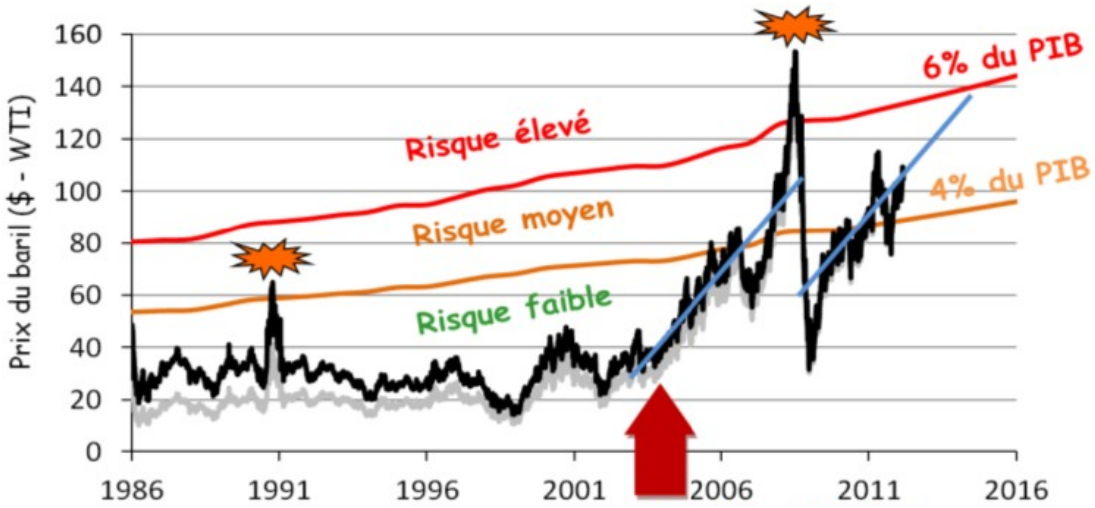


Figure 8: Liens entre prix du pétrole et récession. (Source : Brocorens P.)

Selon Nicolas Meilhan, la demande de pétrole se contracte à partir d'un coût du baril de 102$ pour les USA et de 120$ pour la Chine.[111]

[110]KOPITS S. « Oil : What price can America afford ? ». 2009. Cité par BROCORENS & Al. p.160.
[111]MEILHAN Nicolas, Comprendre ce qui cloche avec l'énergie (et la croissance économique) en 7 Slides et 3 Minutes, avril 2015, Frost & Sullivan. [Présentation Powerpoint]

Les prix du gaz et du charbon sont tendanciellement corrélés avec le prix du baril de brut. Or ces sources d'énergie représentent à elles trois 86,6 % de l'énergie primaire utilisée dans le monde.[112] Une hausse des cours du pétrole implique donc une hausse généralisée de l'énergie.[113]

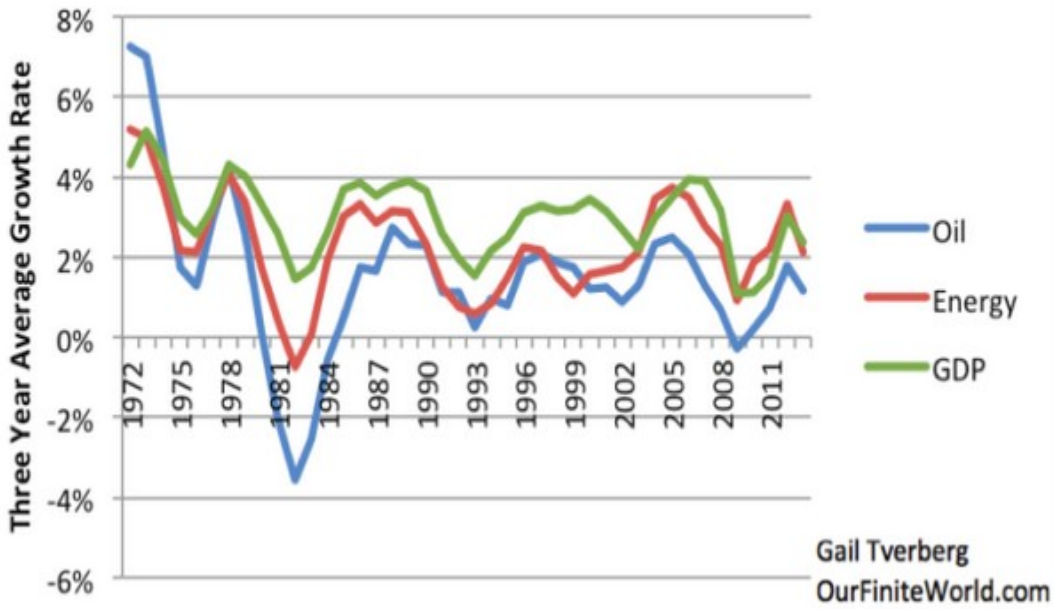


Figure 9: World Growth in Oil, Energy and GDP. (Source : OurFiniteWorld.com)

[112]Chiffres pour 2013, BP Statistical Review of World Energy, 63rd Edition. Op.Cit.

[113]Cette assertion n'est cependant plus valable actuellement pour les USA, les « *shale gas* » ayant supprimés cette corrélation.

De même, la consommation de pétrole est liée au PIB : plus le PIB des habitants d'un pays est élevé, plus la consommation de pétrole augmente.

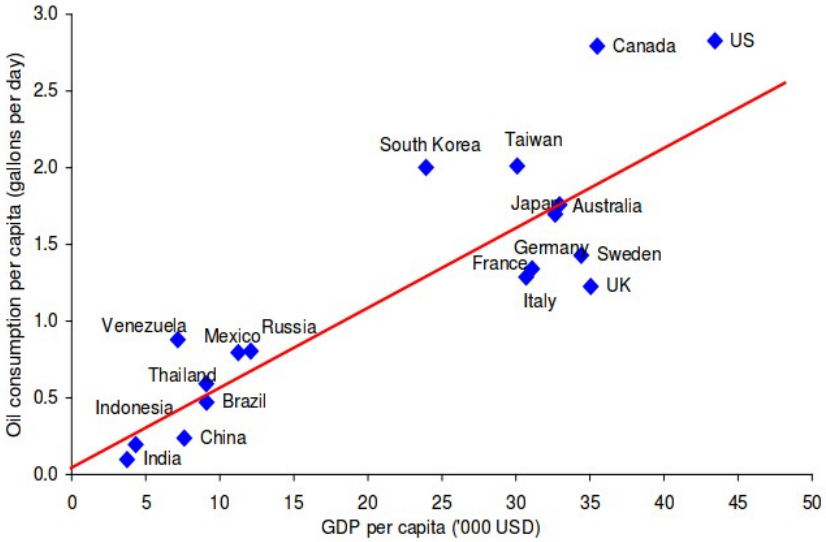


Figure 10: Per Capita Oil Consumption Relative to GDP (Source : Adam Sieminski, Energy and the Economy, US EIA & JHU SAIS 2010 Energy Conference, April 6, 2010)

Bien que les sociétés occidentales, ne représentent qu'une minorité de la population mondiale, celles-ci sont les plus grandes consommatrices d'énergie. Or les habitants des pays en voie de développement aspirent légitimement à accéder à notre mode de vie. Il y a 25 ans, la Corée du Sud et Taïwan étaient au niveau de développement que possède actuellement la Chine et l'Inde. Un tiers de la population mondiale arrive au seuil de la catégorie de la classe moyenne et souhaite le mode de vie y afférent.

Il faut également tenir compte de l'évolution de la population mondiale. « *D'ici à 2050, la population de la planète devrait passer de 7 milliards à plus de 9 milliards, et l'économie mondiale devrait presque quadrupler, entraînant une demande croissante en énergie et ressources naturelles.* ».[114]

La situation actuelle risque donc de perdurer et de s'amplifier dans le futur. Selon Slingerland et Van Moulrik, « *Tant qu'il ne sera pas officiellement reconnu que c'est le manque définitif de pétrole bon marché qui empêche la croissance de repartir, aucune politique appropriée ne pourra être mise en place (…) Aucune croissance forte ne sera plus possible à court ou à moyen terme, ce qui va nous obliger à reconsidérer notre modèle économique et social.* »[115].

Outre la possibilité de disposer d'énergie en suffisance, il faut tenir compte du fait qu'il est indispensable qu'elle soit peu chère ou à tout le moins abordable pour assurer la sécurité énergétique ; la sécurité économique d'un pays étant intimement liée à celle-ci. En effet, sans sécurité énergétique, il est impossible de garder une sécurité économique suffisante pour assurer notre niveau de vie.

[114]OCDE. Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 : Les conséquences de l'inaction – Synthèses. p.1
[115]SLINGERLAND & VAN MOURIK. Op. Cit. p.161

5. Évolution des prix du pétrole

Les facteurs intervenant dans la fixation des prix des hydrocarbures sont extrêmement nombreux et dépassent largement le cadre des théories économiques de l'offre et de la demande. De ce fait, il est quasiment impossible de prévoir et de planifier précisément les tendances à court ou à moyen terme. À ce sujet, voici ce que prévoyait en janvier 2001 le Bureau du Plan[116] au sujet de l'évolution des prix du pétrole : « *Dans ce scénario [moderate resources], le prix du baril de pétrole atteindrait 35,6 dollars (dollars 1999) en 2020 et 42,5 dollars en 2030. Par rapport au scénario de base, il s'agirait d'une augmentation de prix d'environ 21% en 2020 et de 29% en 2030.* ».[117]

Cette analyse est même plus pessimiste que les prévisions de l'AIE telles que données dans le WEO 2000 : « *This is reflected in the assumption that the international crude oil price is flat at $21/barrel in today's money until 2010, but then rises steadily to $28 through 2020.* ».[118]

Le prix maximum de 145.85$ le baril fut atteint en juillet 2008.

Avec un accroissement de la demande et une stagnation/diminution de l'offre, il est certain que les prix du pétrole ne pourront qu'augmenter, mais selon quelle tendance ?

[116]En Belgique, les décisions politiques, tant budgétaires qu' économiques sont basées sur les analyses du Bureau du Plan. Ces prospectives sont majoritairement basées sur les prévisions de l'AIE

[117]COURCELLE C., GUSBIN D. Perspectives énergétiques 2000-2020 : Scénarios exploratoires pour la Belgique.1

[118]IEA, World Energy Outlook 2000, p.22.

6. Théorie d'évolution des prix pétroliers ou « théorie du plateau de production »[119]

La production pétrolière est caractérisée par une capacité d'extraction journalière limitée. Cette capacité de production représente la capacité des installations disponibles à produire du pétrole. Cette capacité de production limitée est en partie due aux contraintes physiques ainsi qu'à des volontés politiques restreignant les investissements quand les rentes sont suffisantes.

Une de ces contraintes physiques est le taux de déclin. Au début de la production, le pétrole jaillit spontanément des puits. Cette production peut représenter jusqu'à 40 % de la production totale du champ. Au fur et à mesure de l'exploitation, la pression diminue dans la réserve, ce qui fait que la capacité de production se réduit, il faut alors extraire le pétrole par différentes techniques. Celles-ci consistent par exemple en l'utilisation d'eau ou de gaz injecté dans le gisement. Ces techniques permettent de récupérer les 55 à 60 % restants du gisement.[120]

Plus le gisement s'épuise, plus les dépenses en énergie nécessaire à l'exploitation augmentent et lorsque les coûts d'exploitation sont supérieurs au cours du marché, l'exploitation s'arrête. Des prix élevés permettent donc de poursuivre l'exploitation et d'augmenter le taux de récupération.

Des facteurs politiques interviennent également dans le chef des États producteurs. En effet, quel est l'intérêt, pour un pays tel que l'Arabie Saoudite qui possède les plus grandes réserves et la plus grande capacité d'extraction d'augmenter ses capacités alors que la rente pétrolière actuelle est suffisante pour assurer son budget. À l'heure d'écrire ces lignes, les prix bas sont une manière pour certains États de mener une guerre économique contre les producteurs de shale oil et gas américains.[121] Ces mêmes facteurs politiques pourraient créer une boucle de rétroaction positive en cas de grave crise.

Pour une société pétrolière privée, les investissements font partie de sa vision à long terme. Les investissements privés dans le domaine de la prospection et l'exploitation sont relativement importants et le deviennent de plus en plus suite entre autres à l'accroissement de la difficulté à exploiter des sources non-conventionnelles d'hydrocarbure. Selon les estimations de IFPEN, les dépenses liées à l'exploration ont été multipliées par cinq entre 2003 et 2013.[122] Pour des raisons de rentabilité, ces investissements ne sont donc effectués que lorsque le prix du brut atteint un certain niveau.

Il semble que la capacité de production mondiale de pétrole brut plafonne depuis quelques années aux alentours de 76 Mb/j.[123] Les chiffres du schéma représentent la production de pétrole brut selon la définition de l'EIA.[124]

---

[119]Faisant référence à un plateau de production plutôt qu'à un pic abrupt de production.

[120]http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/pic-petrolier#notes, consulté le 06 avril 2015.

[121]« Inside OPEC room, Naimi declares price war on U.S. shale oil », Reuters, dépêche du 28 novembre 2014, http://www.reuters.com/article/2014/11/28/us-opec-meeting-shale-idUSKCN0JC1GK20141128consulté le 20 mars 2015.

[122]« Les compagnies pétrolières peinent à découvrir de nouvelles réserves », Les Échos du 15 décembre 2014, http://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/0203999006177-les-compagnies-petrolieres-peinent-a-decouvrir-de-nouvelles-reserves-1074912.php?8xoRmoY3UjAO5d7E.99, consulté le 03 avril 2015.

[123]Les pétroles non-conventionnels sont exclus.

[124]EIA et AIE utilisent des définitions différentes. Ces différences sont expliquées en annexe 2.

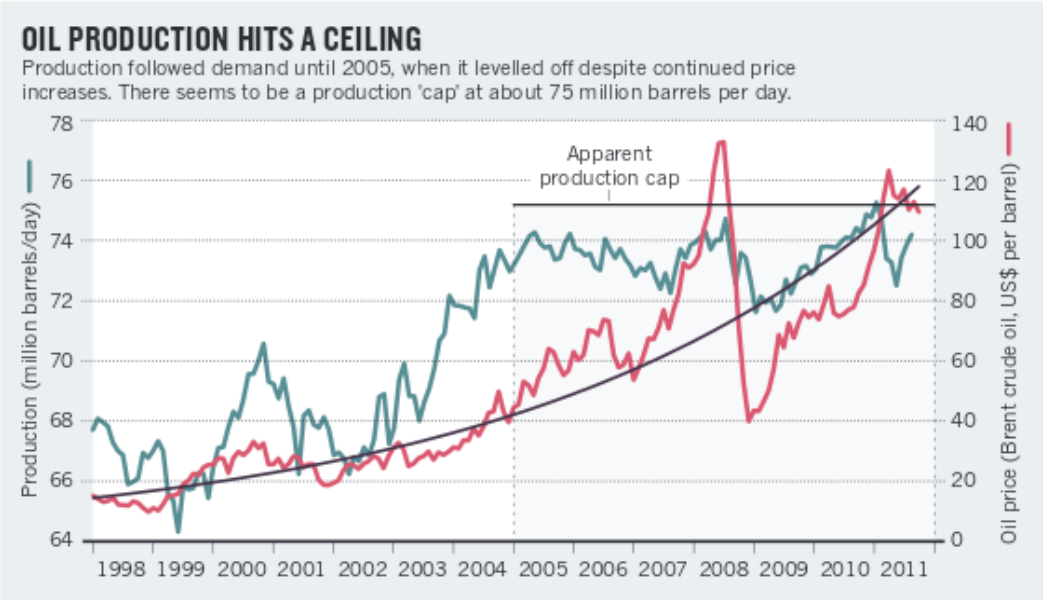


Figure 11: Oil Production Ceiling (Source : James Murray and David King, « Oil's tipping point has passed », Nature, Vol.481, 26 janvier 2012)

L'AIE précise dans son WEO 2010 que « *La production pétrolière mondiale atteint 96 Mb/j*[125] *[]. La production de pétrole brut se stabilise plus ou moins autour de 68-69 Mb/j à l'horizon 2020, mais ne retrouve jamais le niveau record de 70 Mb/j qu'elle a atteint en 2006, tandis que la production de liquides de gaz naturel (LGN) et de pétrole non conventionnel connaît un vif essor.* ».[126]

L'approvisionnement en pétrole fonctionne en flux tendu, l'offre devant suivre la demande comme le fait remarquer l'AIE : « *As of early 2015, the IEA Oil Market Report forecast average demand for the year of more than 93 million barrels of oil and liquid fuels per day worldwide with January 2015 production totalling just over 94 million barrels per day.* ».[127] Il est donc bien plus important de connaître les capacités excédentaires de production que la production en elle-même. Cette capacité excédentaire de production permet de faire face à l'accroissement de la demande. Si cette capacité est élevée, les producteurs n'ont aucun problème à satisfaire la demande. Par contre, si cette capacité excédentaire est faible, cela veut dire que les producteurs atteignent leur limite de production et n'ont que peu ou pas de marge de manœuvre. Ce manque de réactivité face au marché peut alors créer un différentiel important entre l'offre et la demande et ainsi créer des variations de prix en cas de demande importante. Ces capacités de production sont déterminées par les investissements consentis, des considérations politiques dans le cas de NOC's mais aussi par des facteurs physiques.

Avec une demande accrue et une production plafonnée, il est plus que probable que la tendance des prix de l'énergie sera à l'avenir à la hausse.

À l'approche de cette « limite » de production et ce tant que la demande reste importante, les prix augmentent fortement, comme le montre le graphique suivant.

[125]Y compris les pétroles non-conventionnels et les liquides de gaz naturel. Hors gains de raffinage.
[126]IEA. World Energy Outlook 2010 - Keygraphs, p.7.
[127]FAQs: Oil. https://www.iea.org/aboutus/faqs/oil/, consulté le 2 avril 2015.

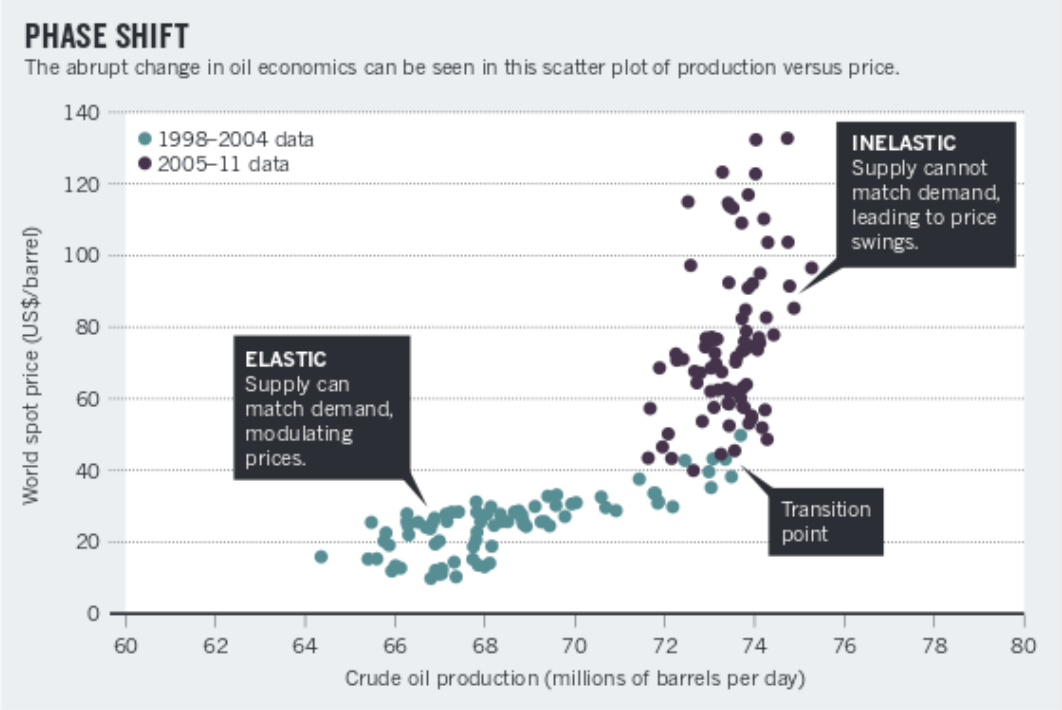


Figure 12: Variation de prix lorsque la demande approche l'offre maximum (Source : James Murray and David King, « Oil's tipping point has passed », Nature, Vol.481, 26 janvier 2012)

Hirsch a calculé qu'un déficit de production de 4 % amène un prix de 160$ le baril.[128] Une demande dépassant les capacités de production, des événements géopolitiques impliquant les flux de livraison de pétrole[129] ou des décisions politiques de la part de pays producteurs peuvent donc avoir d'énormes conséquences économiques.

Le principe du plateau ondulant est le suivant : lorsque les prix augmentent, les investissements sont rentables pour les sociétés pétrolières et les pays producteurs. Cependant, les délais entre les premiers investissements et l'exploitation sont d'environ 4 ou 5 ans. Ces délais, en ce qui concerne les *shale oil* sont cependant de l'ordre de quelques mois. Les investissements consentis ne seront donc ni rentables ni productifs avant ces délais. Lorsque les prix sont élevés, comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les économies fortement dépendantes du pétrole ralentissent. À ce moment, les consommateurs privés ou les États prennent conscience qu'il est important et intéressant de faire des investissements en vue de limiter leur dépendance. Ces acteurs ne possèdent à ce moment que peu de moyen à investir. Ils reportent ces investissements, la conjoncture économique étant mauvaise. Ce ralentissement économique provoque alors, suite à une baisse de la demande, une baisse des cours.

Quand les prix descendent, les acteurs économiques ne voient plus l'intérêt d'investir pour économiser l'énergie, d'autant plus qu'une baisse intervient après une période de prix élevés et donc de contexte économique défavorable. Actuellement, c'est dans cette situation que nous nous trouvons.[130] Le report de ces investissements dans les économies d'énergie implique que la dépendance au pétrole est toujours élevée et lorsque la prochaine hausse surviendra, le choc sera d'autant plus important.

[128]Cité par PARKS, Op.Cit. p.123.
[129]http://www.eia.gov/countries/regions-topics.cfm?fips=wotc&trk=p3, consulté le 20 mars 2015.
[130]Mai 2015, le prix du baril de Brent est d'environ 55$.

Les producteurs, quant à eux peuvent compter sur les investissements consentis précédemment dans leur capacité de production, mais, leur rente étant moins importante, restreignent leurs investissements. Les prix ayant baissés, la demande repart à la hausse, mais elle est limitée par les capacités de production disponibles. L'offre étant limitée, les prix repartent à la hausse et le cycle recommence.

Des événement extérieurs tels que la crise économique de 2008, en diminuant fortement la demande, peuvent influencer ce cycle.

Le graphique suivant fut présenté par P. Brocorens en février 2007 pour illustrer le modèle de plateau ondulant.[131] Le prix du baril de « Brent » était alors à moins de 60 dollars.[132] Le pic mondial de production a été localisé en 2005 pour les besoins de l'illustration et les courbes en bleu correspondent à un scénario possible.

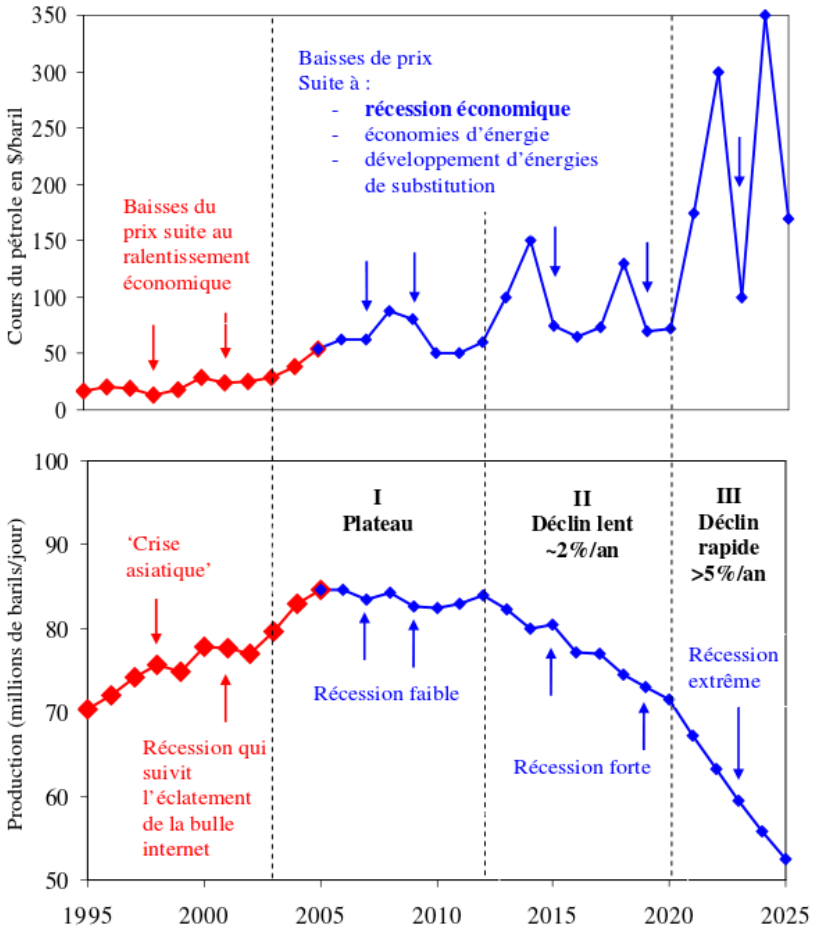


Figure 13: Modèle de plateau ondulant (février 2007, Brent 60$/b.) (Source : Brocorens P.)

Le graphique suivant, utilisé depuis plusieurs années est plus représentatif de cette théorie du plateau de production. Il met en évidence le lien entre des capacité de production atteintes et les effets sur l'économie. En fonction de la date, la partie supérieure représente la production journalière, la partie inférieure représente le prix du baril.

[131]BROCORENS Patrick. Pic du Pétrole et Pic du Gaz.
[132]http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/serie.asp?idbank=000455743, consulté le 14 avril 2015.

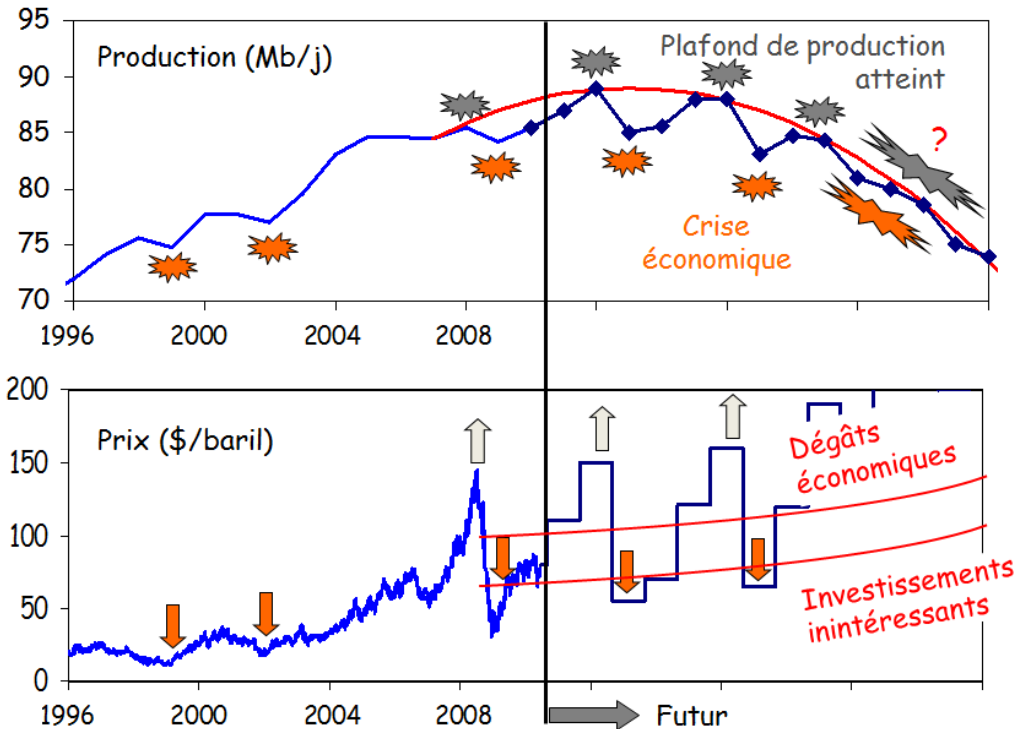


Figure 14: Plateau ondulant (Source : Brocorens P.)

Le graphique suivant montre l'évolution des prix du pétrole en janvier 2015[133].

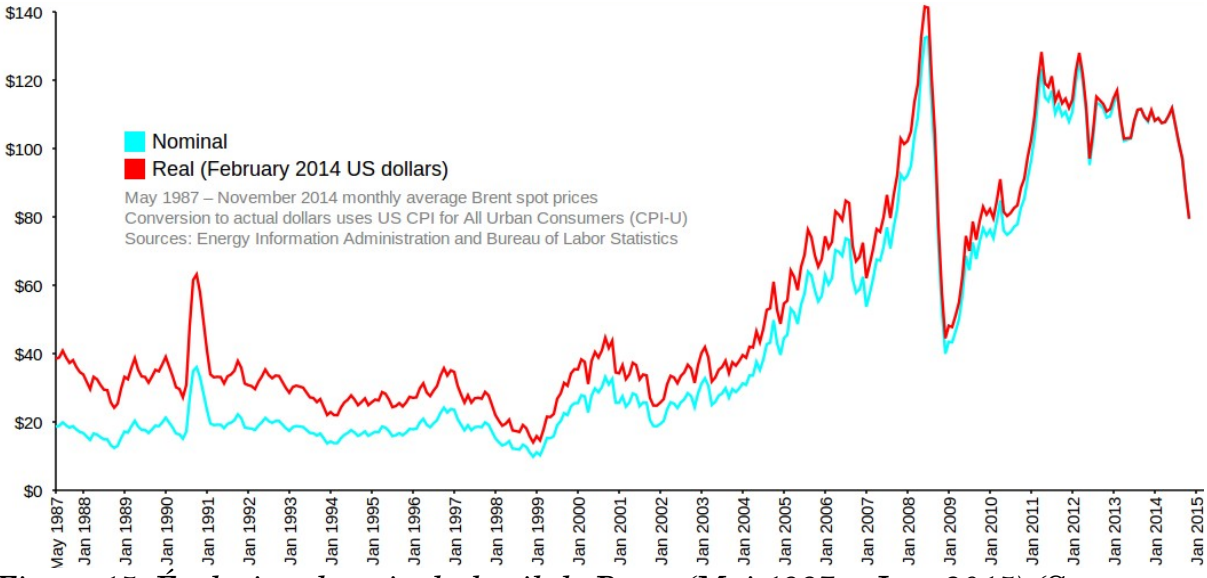


Figure 15: Évolution du prix du baril de Brent (Mai 1987 – Jan. 2015) (Source : EIA)

Au vu de la similarité des graphes, il semble que ce modèle du « plateau ondulant » soit pertinent.

Cette succession de prix élevés et de prix bas rend difficiles les investissements nécessaires à une moindre dépendance aux énergies fossiles ainsi qu'une politique efficiente à long terme. La conséquence de ces brusques variations de prix est que les économies de pays importateurs seront de plus en plus fragiles, le laps de temps entre deux hausses de prix ne permettant peu ou pas d'éventuelle reprise.

[133]La courbe rouge exprime des dollars de 2014, la courbe bleue exprime des dollars courants.

7. Un monde complexe

Les sociétés occidentales sont les sociétés les plus complexes créées par l'homme et constituent en ce sens une anomalie dans l'histoire de l'humanité. Aux origines de ces sociétés complexes se trouve le besoin de résoudre les problèmes auxquels elles étaient confrontées. Cependant, la résolution de ces problèmes entraîne la création de nouveaux défis.

Entre une société de chasseurs cueilleurs et la nôtre, des milliers d'années d'évolution furent nécessaires. Thomas Homer-Dixon développe trois types de systèmes qui déterminent notre monde : les systèmes environnementaux, sociaux et technologiques.[134]

Les systèmes environnementaux existent tels quels depuis la nuit des temps. Ce n'est que récemment que l'homme les modifie sensiblement. Les débats visant à fixer le début de l'anthropocène[135] entrent dans ce cadre.[136]

Les systèmes sociaux sont eux le produit de nos actions et peuvent donc être adaptés. Les systèmes politiques, économiques, financiers font partie de cette catégorie.

Les systèmes technologiques, quant à eux, n'existent et n'ont de sens que pour celui qui les utilise.

Au fil du temps, ces différents systèmes ont été adaptés et modifiés. Les changements étaient mineurs mais, accumulés, ils ont modifiés profondément les caractéristiques et les comportements de ces systèmes, les rendant plus complexes et plus interconnectés que jamais. Un rythme accéléré de changement, une complexité accrue et l'introduction de non-linéarité[137] augmentent le nombre d'*inconnues inconnues*. Un exemple type de ces *inconnues inconnues* est la chute du mur de Berlin en 1989. Personne n'a pu prédire cet événement.

Cette complexité et l'augmentation potentielle de ces *inconnues inconnues* rend nos sociétés extrêmement vulnérables. Bien qu'ayant eu des effets limités, il existe des exemples actuels de cette vulnérabilité. L'éruption du volcan islandais Eyjafjallajökull ou le Tsunami de 2011 au Japon en sont deux illustrations récentes, leurs effets s'étant fait sentir sur l'ensemble de la planète. , de part l'interruption des vols aériens durant plusieurs jours dans le cas islandais et de part l'interruption de la fourniture de composants électronique dans le cas du Japon.[138]

Ces *inconnues inconnues* sont à différencier des *inconnues connues*, que l'on peut partiellement prévoir et donc en partie anticiper. Le changement de climat dû aux changements de saison en est un exemple.

---

[134]HOMER-DIXON Thomas. Le défi de l'imagination – Comment résoudre les problèmes de l'avenir ? p.220.

[135]L'anthropocène est une nouvelle ère géologique dont le début correspond à la révolution industrielle et qui caractérise une ère pendant laquelle l'emprise de l'homme sur l'environnement est devenu prédominante.

[136]STEFFEN Will, CRUTZEN Paul J. & McNeill John. The Anthropocene : Are Humans Now Overwhelming The Great Forces Of Nature ? Ambio, Vol. 36, No. 8. 2007. p. 614-621

[137]On dit qu'un système de type entrée-sortie est **linéaire** si:

- à la somme de deux entrées quelconques correspond la somme des deux sorties correspondantes,
- à un multiple d'une entrée quelconque correspond le même multiple de la sortie correspondante.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Principe_de_superposition, consulté le 11 mars 2015.

[138]Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. Impact du séisme au Japon sur l'économie mondiale.

Le pic pétrolier est une *inconnues connues*. Sa survenue est certaine et, s'il est impossible de cerner précisément ses effets, nombre de conséquences probables sont d'ores et déjà connues et peuvent être anticipées.

8. Un paradigme économique biaisé

Une des pierres angulaires de notre monde est le système économique. Ce système repose sur différents postulats de base.[139] Le premier de ceux-ci est que les cycles économiques, alternance de croissance et de récession, fonctionnent selon une vision « mécaniste », et que l'évolution des cycles est prévisible. Or, selon Georgescu-Rogen, cette vision oublie cependant la prise en compte de l'entropie, un élément fondamental tiré des principes de la thermodynamique qui postule que « *Toutes les formes d'énergie sont graduellement transformées en chaleur et la chaleur en fin de compte devient si diffuse que l'homme ne peut plus l'utiliser.* ».[140] Cette thèse est également reprise par Kumhof & Muir, deux économistes du Fonds Monétaire International.[141]

Cependant, l'économie fonctionne assurément selon des principes entropiques. Si ce n'était pas le cas, nous pourrions par exemple réutiliser l'énergie d'un morceau de charbon à volonté, le transformant en chaleur, cette chaleur en travail et ce travail à nouveau en chaleur.[142] L'économie est donc ce que l'on appelle un système dissipatif : elle doit être alimentée en permanence par un flux d'énergie et cette énergie est in fine dissipée et perdue.

Un tel système entropique se caractérise par un désordre croissant ainsi que par une impossibilité de prévoir son évolution. L'entropie peut donc se définir plus simplement par « *une mesure de la désorganisation des systèmes, du désordre irrémédiablement croissant du monde.* ».[143]

A contrario, une diminution de la consommation des ressources en énergie disponibles implique une baisse d'entropie et donc une simplification.

Pour Adam Smith, qui est souvent considéré comme le père de la science économique moderne, la division du travail est un des facteurs de croissance : la productivité augmente avec la spécialisation du travail, ce qui permet aux marchés de s'étendre. Ces spécialisations impliquent donc une augmentation de la complexité. Dans le domaine militaire, songeons par exemple à l'évolution de la chaîne logistique nécessaire à la conduite d'opérations militaires entre une armée de Napoléon et une armée moderne.

La croissance est également un des fondement de l'économie, de la création monétaire et, partant, de la création de richesse. L'ensemble de la monnaie existante est en effet créée par le crédit bancaire, la masse monétaire ne pouvant s'accroître que de par l'existence d'intérêts. Ces intérêts étant une anticipation de la production future. Or, pour rembourser ces intérêts, la croissance économique est indispensable. Dans le paradigme économique actuel, il ne peut y avoir de création monétaire sans croissance. En cas de défaut de remboursement de cette dette, un État est en faillite.

Cette vision mécaniste de l'économie est incompatible avec l'augmentation de la complexité et une croissance économique infinie : d'un point de vue énergétique, une croissance infinie ne peut se produire qu'avec des ressources en énergie illimitées, ce qui, dans un monde fini est impossible.

---

[139]PARKS, Op.Cit. p.43.
[140]GEORGESCU - ROEGEN Nicholas. La décroissance : Entropie, Écologie, Économie, p. 95.
[141]KUMHOF Michael & MUIR Dirk. Oil and the World Economy : Some possible Futures.
[142]GEORGESCU-ROEGEN, Op.Cit. p. 99.
[143]« François Roddier par-delà l'effet de la Reine Rouge », M. Auzanneau, 30 octobre 2013 , http://petrole.blog.lemonde.fr/2013/10/30/francois-roddier-par-dela-leffet-de-la-reine-rouge/, consulté le11 mars 2015.

Les évolutions technologiques pourraient en théorie faire mentir cette affirmation. Il faudrait cependant que les alternatives représentent une gigantesque rupture technologique qui pourrait être mis en place très rapidement, les délais d'implémentation de cette nouvelle technologie se comptant en dizaines d'années.

La finitude de la planète implique également la finitude des ressources minérales et donc une limitation des matières premières indispensables à ces technologies du futur. Cette limitation est en premier lieu due au fait que l'extraction de ces ressources de plus en plus rares nécessite d'énormes quantités d'énergie qui, dans le futur, sera également de plus en plus rare et chère.

9. L'énergie et l'économie

Nos sociétés reposent sur le principe que l'énergie est peu coûteuse et la sensation qu'elle est « infinie ». Basées sur un système économique néo-libéral où l'État est bien plus considéré comme un arbitre que comme un acteur, seule l'efficience économique est appliquée. Cette efficience économique est basée sur le principe des anticipations rationnelles qui postule que « *les agents [économiques] recueillent les informations, les traitent d'une manière efficace avant de définir leurs comportements* ».[144] Or, les agents économiques sont perfectibles, l'histoire l'a montré lors de la crise de 2008. Les raisons sont multiples, mais une semble particulièrement pertinente.

En novembre 2008, la Reine d'Angleterre, en visite à la London School of Economics a posé la question suivante : « *Why didn't we see 'awful' crunch coming ?».*[145] Quelques mois plus tard, les plus éminents économistes de Grande-Bretagne rédigèrent une lettre de trois pages en réponse à cette question. Sa Majesté se voit expliquer que *«the failure to foresee the timing, extent and severity of the crisis and to head it off, while it had many causes, was principally a failure of the collective imagination of many bright people, both in this country and internationally, to understand the risks to the system as a whole.*».[146]

Bien que cela soit plutôt difficile à admettre, nous ne possédons pas les clefs pour comprendre le système dans son ensemble. Il existe une infinité de spécialités et des millions de spécialistes, mais aucun ne possède une vision d'ensemble du système.

Les théories économiques, quel que soit leur niveau d'élaboration et de complexité, ne font pas exception et se basent trop peu sur les autres disciplines telles que la géologie, par exemple, dans le cas de l'épuisement des ressources.[147] Ben Hammouda termine son livre sur l'analyse de la crise de 2008 par cette citation : « *Toute la question est de savoir si les économistes sauront prévenir les prochaines crises en renforçant l'ancrage de leur discipline dans le domaine des sciences [sociales].* ».

Les économistes sauront-ils anticiper de futures crises liées à l'énergie ? Sauront-ils s'ouvrir aux autres disciplines ? Rien n'est moins sûr,[148] la plupart des opposants à la théorie du pic pétrolier étant toujours à l'heure actuelle des économistes.[149] Le principe étant que les hausses de prix, en permettant de trouver des solutions, et l'apparition de nouvelles technologies permettront de surmonter la crise énergétique, les réalités physiques étant mises de côté.[150]

---

[144]BEN HAMMOUDA Hakim, OULMANE Nassim, SADNI JALLAB Mustapha. Crise… Naufrage des économistes ?, p.33.

[145]« The Queen: Why didn't we see 'awful' crunch coming », Daily Mail du 6 novembre 2008, http://www.dailymail.co.uk/money/news/article-1646332/The-Queen-Why-didnt-we-see-awful-crunch-coming.html, consulté le 04 mars 2015

[146]« This is how we let the credit crunch happen, Ma'am … », The observer, 26 juillet 2009, http://www.theguardian.com/uk/2009/jul/26/monarchy-credit-crunch, consulté le 04 mars 2015

[147]« Pourquoi Rifkin fait fausse route » par BIHOUIX Philippe, publié dans Les Echos du 14 octobre 2014 http://www.lesechos.fr/14/10/2014/LesEchos/21792-053-ECH_pourquoi-rifkin-fait-fausse-route.htm#syxWrFq5GG05WqE2.99, consulté le 14 avril 2015.

[148]FOURCADE Marion, OLLION Etienne, ALGAN Yann. The Superiority of Economists.

[149]HEINBERG Richard. Pétrole : la fête est finie. p.364.

[150]« Croissance : « A quelle distance sommes-nous de nos limites ? » », Entretien croisé avec Gabriel Chardin, physicien, et Alexandre Delaigue, économiste, 28 février 2015, http://rue89.nouvelobs.com/2015/02/28/croissance-a-quelle-distance-est-limites-257868, consulté le 14 avril 2015.

Comme le résume de manière fort optimiste Alexandre Delaigue, professeur d'économie à Saint-Cyr, « *Plus on se rapproche des limites, plus on s'approche aussi des solutions*. ».[151] Encore faut-il en avoir le temps et les moyens, arrivant un moment où, « à *l'approche du pic, il devient virtuellement impossible d'investir suffisamment dans l'extraction pétrolière.*».[152] Pour Kenneth Boulding, lui même économiste, « *anyone who believes in indefinite growth in anything physical, on a physically finite planet, is either mad or an economist.* »

L'énergie est gaspillée comme jamais dans nos sociétés. De nombreuses situations, efficaces et efficientes d'un point de vue économique sont absolument aberrantes tant d'un point de vue énergétique que du point de vue du bon sens. Pour étayer cette hypothèse, les exemples ne manquent pas. Un exemple souvent cité parmi de nombreux autres[153] est la thèse de doctorat de Stéphanie Böde (1993) qui étudie le trajet d'un yaourt aux fraises qui parcourt plus de 9000 km entre le lieu de production et le lieu de consommation séparés en moyenne de 670 km.[154]

La mondialisation est basée sur cette énergie peu chère. Aucun produit manufacturé n'est produit strictement localement. Les industries sont dépendantes de chaînes d'approvisionnements gigantesques et d'un nombre toujours accru de fournisseurs qui se trouvent parfois à des milliers de kilomètres. Servigne et Stevens citent l'exemple de la fabrication d'un Boeing qui nécessite plus de six millions de pièces et le recours à plus de 6500 fournisseurs répartis dans plus de 100 pays.[155] Or, sans parler des matières premières issues de la pétrochimie indispensables à l'industrie, les transports afférents à ces chaînes d'approvisionnement dépendent quasiment exclusivement du pétrole.

Le domaine pétrolier n'échappe pas à cette interconnexion et à ces chaînes d'approvisionnements logistiques. En cas de choc violent qui mènerait à une rupture dans l'accès de fournitures nécessaires aux exploitations, une boucle de rétroaction positive pourrait se mettre en place, aggravant d'autant les problèmes d'approvisionnement. Par exemple, la fracturation hydraulique nécessite, outre des technologie spécifiques, d'énormes quantités d'eau, de sable et de produits chimiques pour sa mise en œuvre.[156] Ces matériaux sont transportés par camions, parfois sur de longues distances. La production de *shale oil* est donc elle-même grandement dépendante du pétrole.

Les gisements de pétrole non conventionnels tels que les forages off-shores dépendent de matériel ultra-perfectionné, hautement spécifique et/ou d'infrastructures lourdes.[157] En cas de défaillance dans un pays produisant ce type de matériel ainsi que les pièces détachées nécessaires, une partie de la filière pourrait être paralysée.

Or, comme expliqué plus haut, la production fonctionne en flux tendu. Cette baisse ou cette rupture d'approvisionnement aurait alors comme conséquence de démultiplier les effets du choc initial.

---

[151]Ibid.
[152]TVERBERG Gail. Financial Impacts of Reaching Limits to Growth, Cité par PARKS, p. 72.
[153]http://local.attac.org/71/IMG/pdf/1-_les_transports_inutiles_et_nocifs.pdf, consulté le 25 février 2015
[154]MIRABEL François, Op.Cit.
[155]SERVIGNE Pablo, STEVENS Raphaël. Comment tout peut s'effondrer, p.107.
[156]http://www.total.com/fr/energies-savoir-faire/petrole-gaz/exploration-production/secteurs-strategiques/gaz-non-conventionnels/focus-gaz-de-schiste/des-techniques-de-production-specifiques/les-techniques-de-production?%FFbw=kludge1%FF, consulté le 15 avril 2015.
[157]TOTAL. Offshore profond une aventure technique et humaine.

En théorie, des dispositions sont mises en place par l'AIE pour éviter ce genre de situation et approvisionner un pays en crise en cas de problème technique, de catastrophe climatique ou en cas de troubles.[158] Ce mécanisme fut appliqué après l'ouragan Katrina en 2005.

La crise financière de 2008 a cependant montré les limites de mécanismes de régulations internationaux face à des phénomènes mondiaux de grande ampleur survenant rapidement et soudainement.

Bien que causés par des phénomènes climatiques, les effets indirects des inondations subies par la Thaïlande en 2011 sur nos systèmes de production occidentaux sont interpellants pour illustrer les effets que peuvent avoir chez nous des événements qui se déroulent à l'autre bout de la planète.[159]

Ce que le système gagne en efficacité, il le perd donc en résilience. La mondialisation actuelle est en effet basée sur les flux tendus, les communications et les transports dépendants du pétrole. Cela implique que des événements sur lesquels nous n'avons que peu d'emprise survenant à l'autre bout de la planète peuvent avoir de (très) graves conséquences dans nos contrées.

[158]« How does the IEA respond to major disruptions in the supply of oil? ».https://www.iea.org/topics/energysecurity/respondingtomajorsupplydisruptions/, consulté le 20 mars 2015.

[159]« Les inondations en Thaïlande frappent toute l'électronique », lefigaro.fr, http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2011/11/08/04016-20111108ARTFIG00715-les-inondations-en-thailande-frappent-toute-l-electronique.php, consulté le 05 avril 2015.

10. La guerre en Irak de 2003, première « guerre du pétrole » ?

La guerre en Irak de 2003 pourrait être la première guerre déclarée pour assurer la sécurité d'approvisionnement en énergie des États-Unis et de la Grande-Bretagne et de permettre à leurs IOC[160] de prendre part à l'exploitation du pétrole irakien.[161] C'est en effet ce que laissent à penser les confidences de l'ancien général de brigade James Ellery[162], qui fut entre autres conseiller principal des autorités provisoires de la coalition en Irak ou du général américain Wesley Clark[163], ancien Commandant Suprême des Forces Alliées en Europe (SACEUR). De même, un rapport des services de renseignements américains utilisé par l'administration Bush pour justifier le déclenchement des opérations[164] a récemment été rendu public. Une grande partie des preuves de liens entre l'Irak et Al-Quaida, la reprise d'un programme de conception d'armes chimiques et biologiques ainsi que la reprise d'un programme nucléaire étant basé sur ce que les services de renseignement appellent « rumint[165]».[166]

Bien que toujours officiellement niée, cette thèse d'une guerre pour le pétrole est officieusement acquise, comme tendent à le prouver les dires de certaines personnes influentes. Selon Paul Pillar, professeur à l'université Georgetown, spécialiste du Moyen-Orient et ancien agent de la CIA, «*Affirmer que tout le processus a été imperméable au climat politique n'est tout simplement pas crédible.*»[167] The Guardian rapporte les paroles de Paul Wolfowitz qui était alors Secrétaire adjoint à la défense : « *The.difference between North Korea and Iraq is that we had virtually no economic options with Iraq because the country floats on a sea of oil.* ».[168] Alan Greenspan, l'ancien directeur de la Réserve Fédérale confirme «*ce que tout le monde sait : l'un des grands enjeux de la guerre d'Irak était le pétrole.*».[169]

---

[160]International Oil Companies

[161]« Secret memos expose link between oil firms and invasion of Iraq », The Independant du 19 avril 2011, http://www.independent.co.uk/news/uk/politics/secret-memos-expose-link-between-oil-firms-and-invasion-of-iraq-2269610.html, consulté le 20 mars 2015.

[162]« Ex-UK Army Chief in Iraq Confirms Peak Oil Motive for War; Praises Fraudulent Reconstruction Programmes », Blog de Nafeez Ahmed, 17 juin 2008, http://www.nafeezahmed.com/2008/06/exclusive-ex-uk-army-chief-in-iraq.html, consulté le 20 mars 2015.

[163]https://www.youtube.com/watch?v=f7NsXFnzJGw, consulté le 20mars 2015.

[164]« Le rapport qui a servi de prétexte à la guerre en Irak enfin déclassifié », France24, 20 mars 2015, http://www.france24.com/fr/20150320-rapport-guerre-irak-menace-nucleaire-cia-bush-exageration-2002-nucleaire-al-qaida/?ns_campaign=reseaux_sociaux&ns_source=FB&ns_mchannel=social&ns_linkname=editorial&aef_campaign_ref=partage_aef&aef_campaign_date=2015-03-20, consulté le 20 mars 2015.

[165]Rumor Intelligence

[166]Groupe de Recherche et d'Information sur la Paix. Les États-Unis à contre courant, p.162.

[167]« Guerre d'Irak : comment tout a commencé il y a dix ans », Le Figaro du 20 mars 2013, http://www.lefigaro.fr/international/2013/03/20/01003-20130320ARTFIG00500-guerre-d-irak-comment-tout-a-commence-il-y-a-dix-ans.php, consulté le 20 mars 2015.

[168]« A nasty slip on Iraqi oil », The Guardian, 7 juin 2003, http://www.theguardian.com/world/2003/jun/07/iraq.comment, consulté le 20 mars 2015.

[169]« Guerre d'Irak : comment tout a commencé il y a dix ans », Le Figaro du 20 mars 2013, http://www.lefigaro.fr/international/2013/03/20/01003-20130320ARTFIG00500-guerre-d-irak-comment-tout-a-commence-il-y-a-dix-ans.php, consulté le 20 mars 2015.

11. Les rendements décroissants

La théorie des rendements décroissants fut développée par l'économiste Ricardo. Ce principe énonce que l'on commence d'abord par porter son effort là où il est le plus rentable, et on n'exploite le reste que si cela se révèle vraiment nécessaire.[170] Cette théorie peut être appliquée à de nombreux domaines dont la géologie, et particulièrement au pétrole. Lors des premiers forages, lorsque les gisements étaient proches du sol, les coûts d'exploitation étaient faibles. De même, l'ERoEI était grand (de l'ordre de plusieurs dizaines).[171] Cependant, plus les ressources s'épuisent, plus les coûts d'exploitation augmentent et l'ERoEI diminue.

L'hypothèse centrale de Joseph Tainter concernant l'effondrement des sociétés complexes tient dans le fait que plus une société évolue, plus ses besoins augmentent et plus il est difficile de les satisfaire.[172] Les investissements consentis ne suffisent plus à accroître les bénéfices, ce qui revient à la théorie des rendements décroissants. Autrement dit, la complexité d'une société et sa consommation d'énergie évoluent en parallèle. Soit elles augmentent toutes les deux, soit elles diminuent toutes les deux.

Pour Benoît Thévard, « *Il existe un seuil en-dessous duquel une société ne peut pas descendre sans risquer de voir s'effondrer son activité économique et ses fonctions sociales. Si l'énergie ne sert qu'à produire de l'énergie, il ne reste plus rien pour permettre à la société de fonctionner.* ».[173]

Il semble que ce seuil minimum, pour une source d'énergie, ne doive être inférieur à un rapport de 3:1 , selon Charles HALL & Al., « *Our educated guess is that the minimum EROI for an oil-based fuel that will deliver a given service (i.e. miles driven, house heated) to the consumer will be something more than 3:1 when all of the additional energy required to deliver and use that fuel are properly accounted for (…) the 3:1 minimum "extended EROI" that we calculate here is only a bare minimum for civilization.* »[174]. Plus important encore, la société complexe dans laquelle nous vivons nécessite, selon J.G. Lambert & Al., cité par Servigne et Stevens[175], un ERoEI compris entre 12:1 et 13:1. En dessous de ce seuil, il faut impérativement faire des choix de société qui visent à avoir un niveau de vie correspondant à l'ERoEI idoine.

Ces ERoEI sont à comparer avec les valeurs citées en annexe 2 pour les différentes catégories d'hydrocarbures.

[170] https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_des_rendements_décroissants, consulté le 11 mars 2015.
[171] https://fr.wikipedia.org/wiki/Taux de retour énergétique, consulté le 2 mars 2015.
[172] TAINTER Joseph. L'effondrement des sociétés complexes
[173] THÉVARD Benoît. La diminution de l'énergie nette, frontière ultime de l'Anthropocène.
[174] HALL Charles A. S., BALOGH Stephen & MURPHY David J. R. What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have ?.
[175] SERVIGNE Pablo & STEVENS Raphaël,Op.Cit., p. 55.

Pour illustrer cette partie, une analogie peut être faite avec la pyramide des besoins de Maslow.

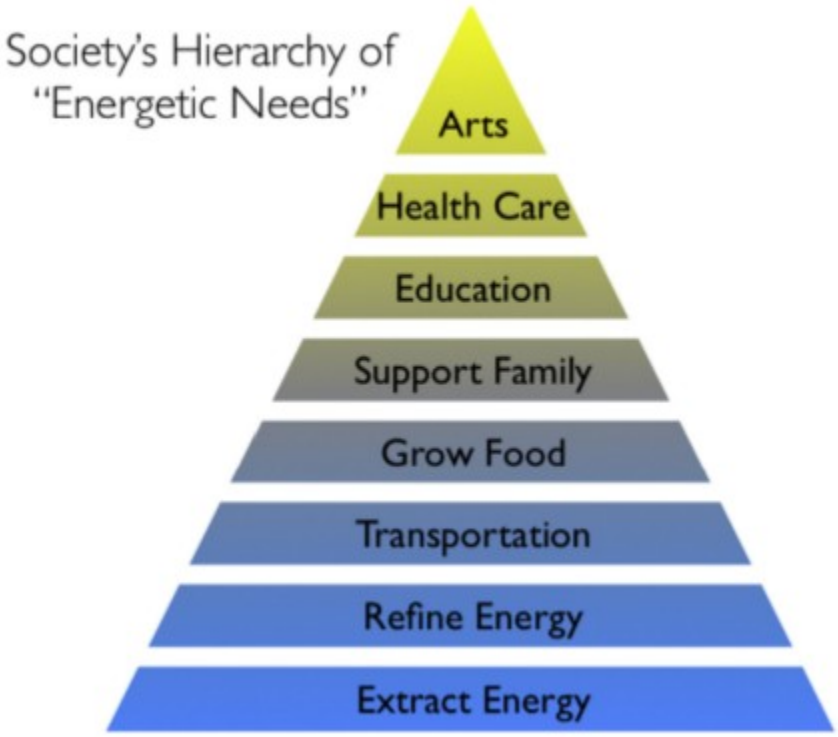


Figure 16: Pyramide des besoins énergétiques Source : Energy, EROI and quality of life (Lambert & Al.)

Cette « Pyramide des besoins énergétiques » représente l'ERoEI minimum pour être en mesure d'effectuer diverses tâches. Si le ERoEI d'un combustible est de 1,1:1, il n'en existe aucun débouché. Il est pompé et c'est tout. Plus le ERoEI d'un combustible est élevé, plus il est possible d'en tirer parti pour effectuer d'autres tâches.

Le graphique suivant illustre la baisse de l'ERoEI en ce qui concerne le pétrole domestique (pour les États-Unis, avant la « révolution » du gaz et du pétrole de schiste).[176] L'ERoEI était de 100:1 en 1930, est passé à 40:1 en 1970 pour se stabiliser à 14:1 actuellement. Ce graphique permet de plus de constater que l'ERoEI des sources d'énergie renouvelable et des pétroles non-conventionnels (ici, les sables bitumineux) est relativement faible. Il est remarqué également le faible ERoEI de la filière nucléaire.[177] La couleur claire indique de possibles gains dus à l'amélioration des technologies. N'étant pas suffisamment efficientes, ces différentes technologies ne pourront donc que partiellement combler les déficits en hydrocarbures.

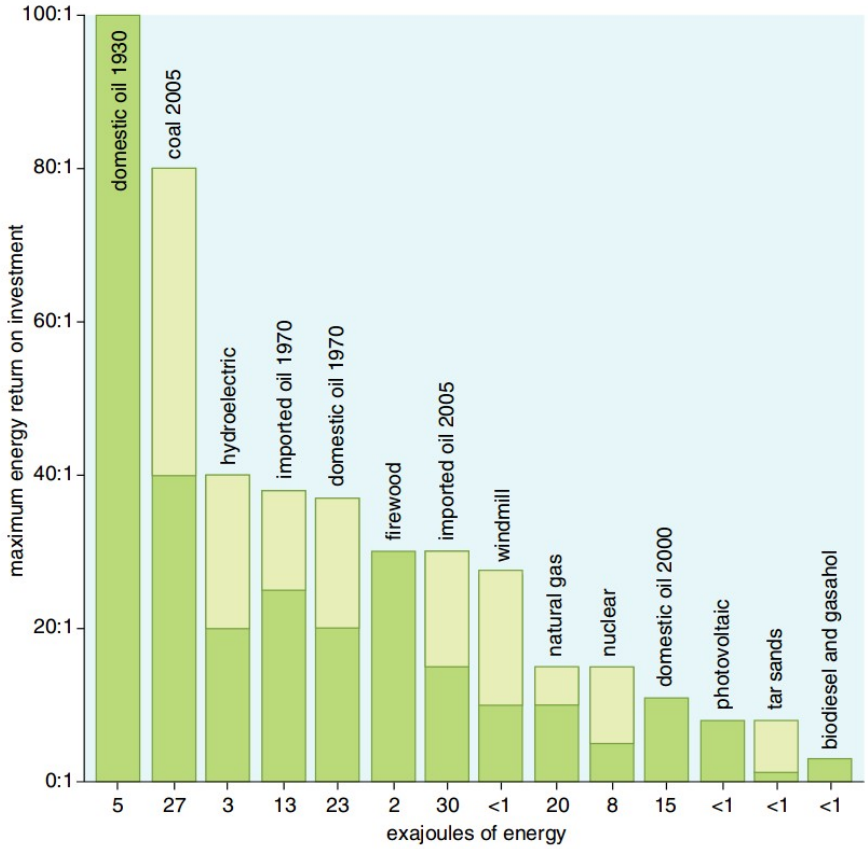


Figure 17: Energy Returned on Energy Invested (ERoEI) (Source : American Scientist, Volume 97)

L'utilisation de ces nouvelles sources d'énergie peut de plus avoir des effets pervers. Il en est ainsi des biocarburants. Selon certains auteurs, l'utilisation des terres agricoles pour la production de carburants verts serait, de par un déplacement de l'allocation des cultures, indirectement à l'origine des émeutes de la faim que le monde a connues en 2007-2008.[178]

Nos sociétés demandent de plus en plus d'énergie pour fonctionner. Or, l'énergie à notre disposition est de moins en moins facile d'accès et de moins en moins rentable d'un point de vue énergétique.

---

[176]HALL Charles A.S & DAY John W. Revisiting the Limits to Growth After Peak Oil, p.236, Fig. 10.

[177]Comprenant la construction des centrales, l'extraction et le traitement des combustibles, l'exploitation et la gestion des déchets.

[178]« Les biocarburants accusés d'exacerber la crise alimentaire », Le Monde, http://www.lemonde.fr/planete/article/2008/04/14/les-biocarburants-accuses-d-exacerber-la-crise-alimentaire_1034251_3244.html, consulté le 11 mars 2015.

12. Quels scénarios pour le futur ?

Afin de poursuivre plus avant, il importe de déterminer les possibles scénarios d'un futur dans lequel les prix de l'énergie sont beaucoup plus élevés qu'actuellement. Le pic de pétrole correspond au maximum de l'exploitation de ce minéral et non à sa « disparition ». Arrivé au « pic », il reste donc en théorie, l'équivalent de la quantité consommée depuis les premières exploitations.

La représentation graphique de cette courbe n'est cependant pas symétrique, la hausse des cours entraînant l'amélioration des techniques de récupération. Cependant, le pétrole le plus facile à exploiter ayant déjà été exploité, les gisements restants consisteront de plus en plus en du pétrole de mauvaise qualité, possédant un ERoEI faible, de plus en plus dispersé géographiquement et aux conditions d'exploitation de plus en plus difficiles.

Bien que les prévisions concernant la disponibilité du pétrole soient extrêmement difficiles à estimer, il est vraisemblable qu'une fois le pic dépassé, il reste suffisamment de pétrole pour plusieurs décennies. Cependant, les facteurs intervenant dans ces calculs complexes rendent impossibles des prévisions à long terme pour déterminer cette durée. Les variables sont en effet nombreuses et il est fort à parier que des variables supplémentaires, invisibles à l'heure actuelle, apparaîtront au cours du temps.

Finalement, le défi pour nos sociétés ne sera donc pas tant de faire face à une pénurie soudaine que d'assumer des variations de prix dont la tendance sera, en moyenne, une forte augmentation. Comme expliqué dans le rapport du Bundeswehr Transformation Center, « *The imminent danger is not the end of oil but the end of inexpensive oil and thus, coincidentally, the end of our economic system, which is dependent on the use of inexpensive oil.* ».[179]

Les impacts prévisibles de ces hausses sont de plusieurs ordres. Certains de ces impacts, bien que liés indirectement au pétrole ont déjà pu être constatés dans certains pays en voie de développement.[180] Les émeutes de la faim, les périodes de troubles ainsi que le « printemps arabe » qui s'en est suivi en 2008, en sont des exemples. Plus récemment, en 2013, l'Égypte s'inquiétait ainsi d'une possible nouvelle recrudescence d'émeutes de la faim faute de pouvoir fournir du blé et du carburant à sa population suite à une situation économique délicate.[181]

Le constat posé par G.W. Bush « *America is addicted to oil*» lors de son discours sur l'état de l'union du 31 janvier 2006 peut être étendu à l'ensemble des pays occidentaux.[182] A terme, nos sociétés et nos modes de vie seront fondamentalement bouleversés par la fin de l'ère de « l'énergie peu chère ».[183]

[179]BUNDESWEHR TRANSFORMATION CENTER, Future Analysis Branch. Armed Forces and Technologies in the 21st Century, Environmental Dimensions of Security ; Sub-Study 1 : PEAK OIL : Security Policy implications of scarce ressources.

[180]« Les émeutes de la faim en Afrique, prélude à la débâcle », libération du 10 octobre 2008, http://www.liberation.fr/economie/2008/10/10/les-emeutes-de-la-faim-en-afrique-prelude-a-la-debacle_114081, consulté le 03 mars 2015.

[181]« L'Égypte craint des émeutes de la faim faute de pétrole et de blé », http://www.agenceecofin.com/gestion-publique/2903-9882-l-egypte-craint-des-emeutes-de-la-faim-faute-de-petrole-et-de-ble, consulté le 03 mars 2015.

[182]http://www.presidency.ucsb.edu/ws/index.php?pid=65090, consulté le 02 mars 2015.

[183]http://petrole.blog.lemonde.fr/2014/04/19/gael-giraud-du-cnrs-le-vrai-role-de-lenergie-va-obliger-les-economistes-a-changer-de-dogme/, consulté le 02 mars 2015

Rob Hopkins, suite à l'étude de différents auteurs, détermine 19 « scénarios sur la vie après le pic pétrolier », qu'il classe en trois catégories à savoir Adaptation, Évolution et Effondrement.[184] A ces 19 scénarios s'ajoutent les quatre scénarios énergétiques de Bryn Davidson ainsi que les quatre scénarios de John Urry.

Afin de coller plus efficacement à la situation actuelle, il semble intéressant de scinder la catégorie « Adaptation » en deux, à savoir « Stagnation » et « Développement durable ». Le scénario de « Stagnation » revient, pour les gouvernements et la société en général à ne rien faire et à ne rien entreprendre, le pic pétrolier étant un événement lointain et « incertain ».[185] Le scénario « Développement durable » tient compte d'une partie des défis futurs tout en gardant le paradigme économique actuel basé sur une croissance sans fin. Au final, ce travail développera les quatre scénarios suivants :

- La « Stagnation » et le « Développement Durable » qui correspondent à une complexification accrue de nos sociétés
- La « Transition » et la « Résilience » ainsi que l'« Effondrement » qui correspondent à une simplification (choisie pour la Transition et la Résilience, imposée par les contraintes environnementales[186] et chaotique pour le scénario « Effondrement »).

Il est apparu au cours de ce travail que ces quatre scénarios sont sensiblement les mêmes que ceux proposés par S. Odland.[187]

[184]HOPKINS Rob. Manuel de transition : de la dépendance au pétrole à la résilience locale, p.52-53. Scénarios sur la vie après le pic pétrolier.
[185]Il existe toujours un vif débat entre partisans du pic et « Cornucopiens », adjectif tiré de « corne d'abondance » désignant les optimistes invétérés considérant les ressources naturelles comme étant infinies.
[186]Ensemble des éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins, Larousse.
[187]ODLAND Sarah. Strategic choices for managing the transition from peak oil to a reduced petroleum economy.

13. Développement des scénarios

13.1. Stagnation

Le scénario de stagnation est basé sur un immobilisme de nos sociétés face à ces défis énergétiques. Cette position est utopique, dangereuse et inconsciente.

Les pouvoirs politiques et économiques sont en partie sensibilisés à cette problématique via entre autres la problématique du réchauffement climatique, comme l'a rappelé l'ancien président français Jacques Chirac le 2 septembre 2002 lors du sommet mondial du développement durable à Johannesburg[188] ou, plus récemment, le secrétaire général des Nations Unies Ban Ki-Moon lors d'une visite à Monaco le 3 avril 2013[189] : « *Il sera bientôt trop tard. Nos modes de consommation sont incompatibles avec la santé de la planète. Notre empreinte écologique est démesurée.* ».

La problématique du pic pétrolier est en effet intrinsèquement liée au réchauffement climatique, ce même réchauffement climatique à l'origine de plusieurs conférences internationales ces dernières années. En effet, les énergies fossiles en sont à la base et il n'existe à l'heure actuelle aucun substitut ou alternative valables. Il serait sensé de penser que la problématique du réchauffement climatique soit également une manière « diplomatique » d'introduire la déplétion des énergies fossiles.[190]

En ce qui concerne le pic pétrolier, les forces armées de nombreux pays dont entre autres les États-Unis[191], l'Allemagne[192] ou le Royaume-Uni[193] ainsi que des institutions comme le FMI[194] s'y intéressent de très près. Les rapports publiés sur l'imminence du pic pétrolier, tant aux niveaux international que nationaux sont en effet nombreux. Ils émanent d'institutions publiques telles que le département américain de l'énergie (Rapport Hirsch[195]), la Bundeswehr[196] , l'*United Kingdom Energy Research Center* (UKERC)[197], l'*UK Industry Taskforce on Peak Oil & Energy Security* (ITPOES), l'US Army (*Joint Operating Environment for 2008*[198] » et son édition 2010[199]) ou le rapport de Richard

[188]« Écologie : le discours de Jacques Chirac à Johannesburg », Le Figaro, 14 mars 2014, http://www.lefigaro.fr/politique/le-scan/2014/03/27/25001-20140327ARTFIG00120-ecologie-le-discours-de-jacques-chirac-a-johannesburg.php, consulté le 2 mars 2015

[189]« Ban Ki-moon: "Il sera bientôt trop tard" pour sauver la planète », RTBF, http://www.rtbf.be/info/societe/detail_ban-ki-moon-il-sera-bientot-trop-tard-pour-sauver-la-planete?id=7962077, consulté le 16 mars 2015.

[190]JOUX Stéphane, La crise pétrolière : Quel discours dans l'ombre du réchauffement climatique?.

[191]« US Army colonel: world is sleepwalking to a global energy crisis », The Guardian, http://www.theguardian.com/environment/earth-insight/2014/jan/17/peak-oil-oilandgascompanies, consulté le 16 mars 2015.

[192]« L'armée allemande prédit le pire une fois le pic pétrolier atteint », Le Monde du 11 septembre 2010, http://www.lemonde.fr/planete/article/2010/09/11/l-armee-allemande-predit-le-pire-une-fois-le-pic-petrolier-atteint_1409882_3244.html#Y5QBMbXJ3GYFZhef.99, consulté le 16 mars 2015.

[193]« Peak oil alarm revealed by secret official talks », The Guardian, 22 août 2010, http://www.theguardian.com/business/2010/aug/22/peak-oil-department-energy-climate-change, consulté le 16 mars 2015.

[194]KUMHOF Michael & MUIR Dirk. Op.Cit.

[195]HIRSCH Robert, BEZDEK Roger, WENDLING Robert. Op.Cit.

[196]BUNDESWEHR TRANSFORMATION CENTER. Op.Cit.

[197]SORELL Steve,SPEIRS Jamie & al. Global Oil Depletion : An assessment of the evidence for a near-term peak in global oil production.

[198]UNITED STATES JOINT FORCES COMMAND. The Joint Operating Environment 2008.

[199]UNITED STATES JOINT FORCES COMMAND. The Joint Operating Environment 2010.

Nehring[200] commandé par la CIA. Ce dernier contribua à la politique énergétique de Carter[201] dont la « *doctrine Carter* » de 1980 qui postule que les États-Unis doivent se tenir prêts à user la force militaire si nécessaire pour défendre leurs intérêts nationaux dans le Golfe Persique. Le milieu financier n'est pas en reste. La banque Lloyd's a publié en 2010 un rapport intitulé « *Sustainable Energy Security - Strategic risks and opportunities for business* »[202] et, en 2012, la banque HSBC a publié « Energy in 2050 - Will fuel constraints thwart our growth projections? ».[203] François Fillon, ancien premier ministre français, a annoncé publiquement le dépassement du pic pétrolier lors d'une séance à l'Assemblée nationale le 5 avril 2011.[204et205]

En 1972 est paru le « Rapport Meadows », du nom de deux des scientifiques du MIT ayant contribué à son élaboration, sous le titre « *The limit to the growth* ».[206] Ce rapport, commandé par le « Club de Rome »[207], se base sur l'utilisation de plusieurs modèles informatiques et modélise l'évolution de la société à partir des données de l'époque. Ses conclusions remettent en cause la viabilité d'un système basé sur la croissance économique.

Le travail est composé de plusieurs modèles répondant à différents scénarios.[208] Les scénarios sont traités par un algorithme appelé World3 et différents facteurs sont pris en compte pour définir les données de base.[209] Le scénario 1, « scénario standard », modélise la dynamique de la croissance dans un monde fini.[210] Le domaine de l'énergie est un des paramètres étudiés. Bien loin d'effectuer des prédictions, les auteurs de l'étude, soulignant explicitement que toutes les hypothèses et toutes les variables possibles ne peuvent pas être prises en compte, se sont efforcés à rendre les indications données qualitativement les plus sérieuses possibles.

[200]NEHRING Richard. Giant oil fields and world oil ressources.
[201]VAN VACTOR Samuel A. Introduction to the Global Oil & Gas Business. p.20.
[202]LLOYD'S. Sustainable Energy Security - Strategic risks and opportunities for business.
[203]HSBC Climate Change, Energy in 2050 - Will fuel constraints thwart our growth projections?.
[204]http://www.assemblee-nationale.fr/13/cri/2010-2011/20110156.asp#INTER8, consulté le 14 mai 2015.
[205]Réponse à une question au Gouvernement, Prix de l'énergie. https://www.youtube.com/watch?v=5U7onpXiy5k [Document vidéo], consulté le 14 mai 2015.
[206]MEADOWS & Al. Les limites à la croissance (dans un monde fini).
[207]Le « Club de Rome » est « *an informal association of independent leading personalities from politics, business and science, men and women who are long-term thinkers interested in contributing in a systemic interdisciplinary and holistic manner to a better world. The Club of Rome members share a common concern for the future of humanity and the planet* ».
[208]Ces scénarios se trouvent en annexe 4.
[209]Dans la catégorie « État de la planète », ces facteurs sont : Ressources (parmi lesquelles les ressources énergétiques), Production industrielle, Population, Nourriture, Pollution. MEADOWS & Al. Op. Cit.
[210]Dans l'édition de 2004, ce scénario est appelé « un point de repère ». « scénario standard » est l'appellation originelle.

Les chercheurs se sont aperçus qu'après une période de croissance continue, le système étudié s'effondre. Une version actualisée et complétée paraît depuis lors tous les dix ans. L'évolution observée depuis la parution de la première édition correspond fidèlement au « scénario standard ».[211et212]

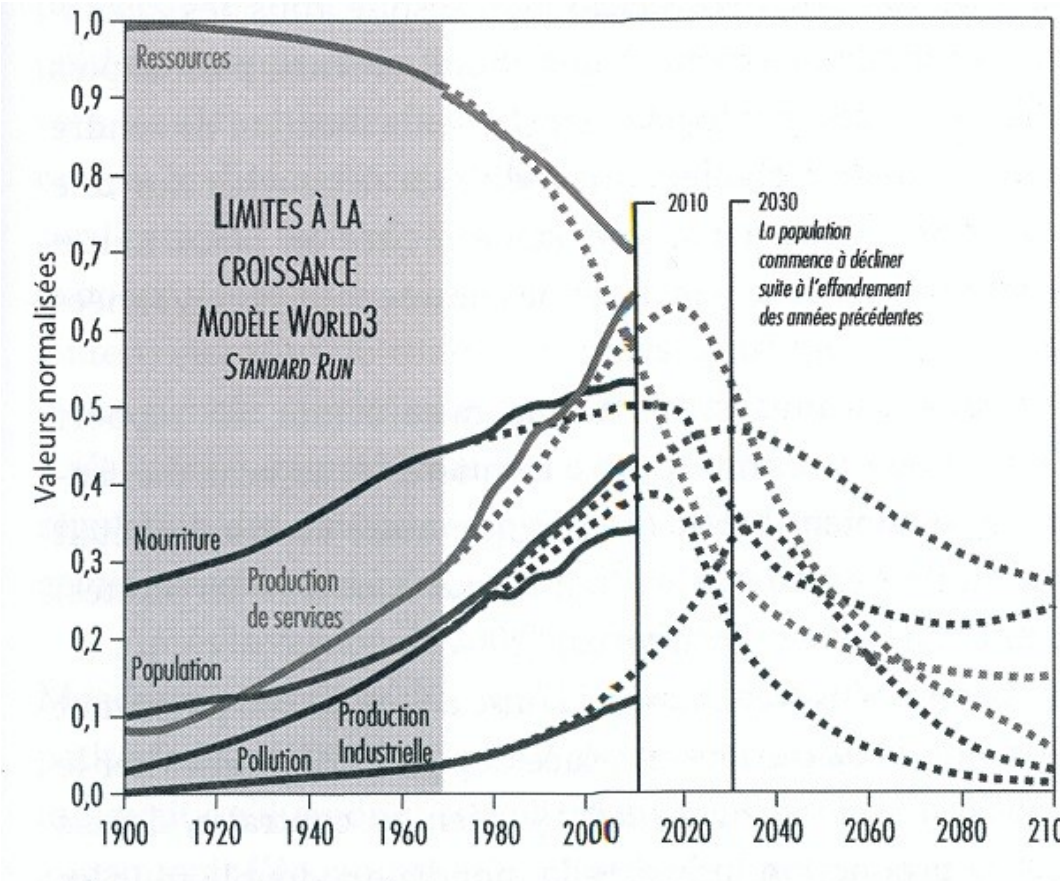


Figure 18: Modèle Meadows "standard run" mis à jour par Graham M. Turne. (Source : On the cusp of global collapse ? Updated comparison of The limits to Growth with historical data.GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society . Vol. 21, n°2, 2012, p.116-124.)

En Belgique, au niveau régional, le « Rapport d'enquête publique du Parlement wallon sur les liens entre l'économie et le pic pétrolier, et les implications pour la Wallonie »[213] et un rapport réalisé entre autres par l'ULB et l'UMons pour Bruxelles-Environnement intitulé « Évaluation des conséquences sociales, économiques et administratives d'un prix élevé du baril de pétrole en Région de Bruxelles-Capitale »[214] ont récemment été publiés.

[211]TURNER Graham. A comparison of the limits to growth with thirty years of reality. Canberra.
[212]« Limits to Growth was right. New research shows we're nearing collapse », The Guardian du 2 septembre 2014, http://www.theguardian.com/commentisfree/2014/sep/02/limits-to-growth-was-right-new-research-shows-were-nearing-collapse, consulté le 16 avril 2015.
[213]BROCORENS Patrick & Al. Rapport d'enquête publique du parlement wallon sur les liens entre l'économie et le pic pétrolier, et les implications pour la Wallonie.
[214]Umons, ULB. Évaluation des conséquences sociales, économiques et administratives d'un prix élevé du baril de pétrole en Région de Bruxelles-Capitale.

D'autres faits viennent étayer ces rapports. Ainsi, lors de la conférence de Davos de 2013, le thème principal était la « résilience dynamique ». Trois points étaient à l'agenda global[215] :

- *how to get the global economy back on to a path of stable growth and higher employment ?*
- *how to address persistent vulnerabilities within the international financial system ?*
- *how to increase global, national and industry resilience to major systemic and catastrophic risks ?*

Cependant, pour la plupart d'entre nous, la problématique du pic pétrolier est un phénomène lointain. La récente baisse importante du prix du brut renforce encore cette tendance.

L'annonce de la proximité de cette fin de l'énergie peu chère, dans un contexte économique déjà difficile, risquerait de créer une réaction de panique pour l'ensemble de la société : « *The world is much closer to running out of oil than official estimates admit, according to a whistleblower at the International Energy Agency who claims it has been deliberately underplaying a looming shortage for fear of triggering panic buying.* ».[216]

Pour Thomas Homer-Dixon, « *Quand tout va bien, il est facile d'oublier que nous vivons dans un monde peuplé d'*inconnues inconnues. *Non seulement ne connaissons-nous pas les éléments, les possibilités et les processus fondamentaux des systèmes complexes qui nous entourent, mais, le plus souvent, nous ne savons pas que nous les ignorons. (...) Souvent, nous ignorons ce que nous ne savons pas.*».[217]

Un scénario semblable à ce qui s'est passé en Europe durant les années 1920 et 1930 n'est dès lors pas à exclure dans le futur. L'impuissance des dirigeants à endiguer la crise actuelle pourrait avoir comme conséquence la montée de partis extrémistes, populistes, nationalistes ou « alternatifs ».[218] L'abstention record et les résultats de certains partis lors des élections européennes de 2014 pourraient en être les prémices. Il en va de même, au niveau national pour certains pays tels que la Grèce avec Syriza et Aube Dorée, l'Espagne et le mouvement Podemos,[219] l'Italie avec le « Movimento 5 Stelle », la France avec le Front National.[220]

Le statut quo est intenable à terme. Il est urgent de prendre la mesure des défis futurs. Ces défis ne pourront êtres relevés que par une volonté politique internationale, ce que confirme Michel Rocard, ancien premier ministre français : « *On peut probablement gagner le combat [écologique], à condition toutefois de s'y prendre assez vite, par des mesures politiques des grands gouvernements de la planète. Ce n'est pas improbable mais cela se fera au prix d'un changement économique, une diminution de l'incitation au profit personnel.* ».[221]

---

[215]World Economic Forum. Annual Meeting 2013 - Executive Summary. 2013.

[216]« Key oil figures were distorted by US pressure, says whistleblower », The Guardian, 9 novembre 2009, http://www.theguardian.com/environment/2009/nov/09/peak-oil-international-energy-agency, consulté le 12 mars 2015

[217]HOMER-DIXON, Op. Cit. p.220

[218]« Marine Le Pen, enfant du carbone », J.M.- Jancovici in Les Echos, 14 Mars 2011, http://archives.lesechos.fr/archives/cercle/2011/03/14/cercle_33934.htm, consulté le 11 mars 2015

[219]« Élections en Andalousie : défaite de la droite et percée des anti-capitalistes de Podemos », Libération du 23 mars 2015, http://www.liberation.fr/monde/2015/03/23/elections-en-andalousie-defaite-de-la-droite-et-percee-des-anti-capitalistes-de-podemos_1226515, consulté le 24 mars 2015.

[220]« Marine Le Pen, enfant du carbone ». Op. Cit.

[221]« Michel Rocard alerte sur les dérives qui mènent au «suicide de l'humanité» », Le Figaro Économie du 26 février 2015, http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2015/02/26/20002-20150226ARTFIG00179-michel-rocard-alerte-sur-les-derives-qui-menent-au-suicide-de-l-humanite.php, consulté le 18 mars 2015

Au vu des coûts et des probables réticences de sa population, aucun pays ne prendra cette décision seul Cette volonté s'accompagnerait en effet de mesures fortes qui pourraient être à juste titre assimilées comme étant une atteinte à ce que l'on considère habituellement comme des libertés ou des droits acquis.

Une des possibilités souvent évoquée est la transition vers le développement durable.

13.2. Développement durable

Le terme de « Développement durable » est apparu lors du troisième sommet de la terre de 1992 à Rio de Janeiro et est basé sur le rapport Bruntland, du nom de l'ex-première ministre de Norvège. Cependant, dès le début des années 80, en réponse à la parution du « Rapport du Club de Rome», l'idée que l'analyse économique combinée au marché puissent faire cohabiter la croissance économique et la protection de l'environnement commence à faire son chemin. On parle alors de « nouvelle politique environnementale » ou de « modernisation écologique ».[222] Le principe de base est de perpétuer la croissance économique, en particulier celle des populations les plus démunies, tout en tenant compte des contraintes de la biosphère. Ce scénario tient compte, en théorie, des limites de l'environnement dont les contraintes liées à l'énergie. Il reste cependant basé sur les mêmes paradigmes économiques qui, comme expliqué plus avant, ne tiennent pas compte de certaines réalités physiques.

Le pic pétrolier est un événement actuel. Cependant, à plus ou moins long terme, d'autres pics de matière premières sont annoncés. Il en est ainsi de certains métaux.[223] La société Vinci, une société privée active dans les infrastructures, annonce à court ou à moyen terme l'épuisement de certains métaux indispensables comme le zinc, l'argent et l'étain.[224] De même, la Commission européenne prend la mesure de l'épuisement de ressources stratégiques.[225] Or, les sources alternatives d'énergies et la technologie en général sont fortement dépendantes de ces matières premières, en particulier des « terres rares ».[226] Comme le dit Bihouix, « *Nous pourrions nous permettre des tensions sur l'une ou l'autre des ressources, énergies ou métaux. Mais le défi est que nous devons maintenant y faire face à peu près en même temps : plus d'énergie nécessaire pour les métaux moins concentrés, plus de métaux nécessaires pour une énergie moins accessible.* ».[227]

Les nouvelles technologies sont extrêmement gourmandes en terres rares. Leur usage s'étend de la fabrication de puissants aimants indispensables à la fabrication d'éoliennes, de moteurs électriques compacts indispensables au véhicules hybrides, de condensateurs ultra-performants et de lampes LED ainsi qu'à l'utilisation comme semi-conducteurs dans les panneaux photovoltaïques. Ces métaux sont de plus souvent utilisés sous forme d'alliage et sont de ce fait difficilement recyclables. Or l'Union européenne est fortement dépendante de certains de ces éléments. Dans son rapport du 30 juillet 2010,[228] 41 matériaux furent cités comme étant potentiellement critiques.

---

[222]NEWELL Peter, PATERSON Matthew. Climat et capitalisme – Réchauffement climatique et transformation de l'économie mondiale. p.35

[223]Pour une analyse plus complète, voir à ce sujet les livres de BIHOUIX & GUILLEBON, « Quel futur pour les métaux ? » ou BARDI « Le grand pillage – Comment nous épuisons les ressources de la planète».

[224]Vinci, «Le monde change, et vous?», clip promotionnel, https://www.facebook.com/video.php?v=10150245627418217, consulté le 11 mars 2015

[225]EUROPEAN COMMISSION. Critical raw materials for the EU - Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials.

[226]Cette appellation provient du fait qu'ils furent découverts au 19ème siècle dans des minéraux peu commun.

[227]BIHOUIX Philippe. L'âge des low-tech – vers une civilisation techniquement soutenable, Op. Cit. p.66

[228]« Critical raw materials for the EU - Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials », Op. Cit.

Il est noté que les terres rares comprenant 17 éléments et les platinoïdes en comprenant 6 sont comptés en tant que « famille ». Cette liste comprend donc en fait 62 matériaux. De cette liste, 14 éléments dont les terres rares et les PGM[229] furent retenus comme étant « critiques ». Pour 9 d'entre eux, les importations sont de 100 %.

En ce qui concerne les transports, principale utilisation du pétrole, le défi est également important. Pour les transports terrestres, des technologies existent pour substituer en partie l'électricité aux hydrocarbures. Il s'agit soit de voitures électriques soit de voitures associant un moteur thermique alimentant un moteur électrique. Pour les transports plus lourds, les véhicules actuellement en service ne sont utilisés que pour les livraisons effectuées en ville, l'autonomie n'étant à l'heure actuelle pas suffisante pour d'autres utilisations.

Ces solutions impliquent cependant de pouvoir premièrement produire cette électricité, ce qui nécessiterait l'équivalent de la construction de plus de 1000 centrales nucléaires pour remplacer 10 % de la production mondiale d'électricité d'origine fossile (gaz, charbon, pétrole)[230] et, deuxièmement, de stocker cette électricité, ce qui demanderait des quantités gigantesques de lithium et autres métaux. Ce problème de stockage fait actuellement l'objet de recherches poussées.

D'autres alternatives telles que le gaz ou l'hydrogène sont également envisagées, bien que la production d'hydrogène implique l'utilisation de grandes quantités d'électricité ou d'importants rejets de CO_2, selon le type de production. Leur implémentation nécessiterait de plus de gigantesques travaux d'infrastructure pour adapter les réseaux de production et de distribution.

La question des matériaux stratégiques est complexe. En effet, de nombreux facteurs tels que des données géologiques, stratégiques, économiques se combinent pour décrire l'offre et donc également les prix. Ce n'est pas l'objet de ce travail. Cependant, il est important de garder à l'esprit que la transition vers une économie durable nécessitera inévitablement l'utilisation de ces éléments, en tout ou en partie. Or le prix de ces métaux et des minéraux en général suivra inexorablement le prix de l 'énergie nécessaire à leur extraction.

Il est possible, pour certaines rares utilisations, de mitiger cette dépendance par la substitution d'un élément précis par un autre.[231] Les économistes, sous le vocable de loi de substitution, utilisent ce principe pour affirmer que le développement durable est l'avenir. Cette loi ne tient cependant pas compte de certaines réalités physiques.

Le rhénium, par exemple est non-substituable dans le domaine de l'aéronautique.[232]

L'acier inoxydable, contenant en partie du chrome, peut être substitué par du titane. Le fer est relativement abondant dans la croûte terrestre. Le chrome nettement moins.[233] Il serait imaginable de remplacer l'acier inoxydable par du titane. Cependant, le point de fusion du titane est beaucoup plus élevé et nécessite donc plus d'énergie pour être produit.[234]

[229]Platinum Group Metals
[230]TRITTIN Jurgen, Affaires étrangères et énergie : quand les défenseurs de la sécurité et les environnementalistes se rencontrent.
[231]BIHOUIX & GUILLEBON, Op.Cit. p.50.
[232]Ibid, p.149.
[233]PAGANI Marco& CAPORALI Stefano. Le modèle de Hubbert : étudier le passé pour prévoir l'avenir. Cité par BARDI, p.265.
[234]BARDI.Le grand pillage. p.352.

Un éventuel recyclage possède également ses limites : certains superalliages utilisés dans l'aéronautique, par exemple, sont composés de 15 métaux différents. Leur récupération est limitée par les technologies et la difficulté de repérer et de dissocier les différents constituants.[235]

L'industrie nucléaire, que ce soit dans les installations conventionnelles utilisant la fission ou dans de futures installations thermonucléaires utilisant la fusion, est très fortement dépendante de certain métaux. Or, il est ici impossible de recycler les matériaux utilisés. Ils sont en effet irradiés et ne peuvent être réutilisés à d'autres fins.[236]

Un autre point est particulièrement important en cas de généralisation d'agrocarburants : l'agriculture intensive, en plus du pétrole, est largement dépendante du phosphore utilisé dans la synthèse d'engrais.[237] Il n'y a aucune d'alternative à ce minéral dont les ressources diminuent également fortement.[238]

Il semble donc que ce soit la « loi de Liebig » ou loi des facteurs limitants qui soit d'application pour l'avenir. Cette loi, tirée de l'agronomie, exprime que le facteur le plus limitant, dans le cas présent, l'énergie ou les minéraux, conditionne l'ensemble.

Un avenir basé sur un scénario durable devrait donc tenir compte de différents facteurs tels que l'effet rebond, l'énergie grise nécessaire à la construction et à la fabrication des biens ainsi que la qualité de l'énergie.[239] Une analyse coût/bénéfice pertinente ainsi que des choix mûrement réfléchis devront guider tout processus d'élaboration, de fabrication et de production afin de maximiser leur efficience et leur efficacité.

De telles mises en place, pour avoir un impact sensibles nécessitent du temps, de l'énergie et un financement adéquat. [240] Dans le rapport rédigé par Robert Hirsch, les auteurs ont étudié un Worldwide Crash Program Mitigation.[241] La base de ce programme était une production mondiale de 100 mb/j. L'objectif était de remplacer 35 % de la production de départ, soit 35 mb/j, par des substituts ou de nouvelles technologies. Il s'agissait par exemple de diminuer la consommation des véhicules et d'utiliser du gas-to-liquid (GTL), du heavy oil, l'Ehanced Oil Recovery et du Coal-to-Liquid (CTL). Selon les conclusions, pour éviter un effondrement de l'économie mondiale, il faudrait développer ce programme environ vingt ans avant la survenue du pic pétrolier.[242] À titre d'exemple, en temps normal, en ce qui concerne le parc automobile, un laps de temps de 10 à 15 ans est nécessaire pour n'en remplacer que la moitié.[243]

La contrepartie de ces gains énergétiques pourrait paradoxalement être une perte d'indépendance, de flexibilité et de résilience en cas de perturbations. Comme le signale Bihouix « *Plus nous rendrons le système complexe - et ne doutons pas que plus de technologie signifie plus de complexité -, plus il sera dur de le maintenir économiquement et plus il sera potentiellement sensible à des perturbations venues de l'extérieur.* ».

Les énergies renouvelables offrent des possibilités de relocalisation et d'indépendance à condition qu'elles soient simples. Des technologie comme le petit éolien et le solaire

[235]BARDI, Op. Cit. Chap.7 « La course de la reine rouge où l'avenir de la civilisation »
[236]BIHOUIX, Op. Cit. p. 201
[237]Les autres composants principaux sont l'Azote et le Potassium.
[238]DÉRY Patrick, « Le phosphore : faut-il changer de paradigme ? », cité par BARDI, Op. Cit. p.282.
[239]« Le véhicule électrique est-il vraiment écologique ? », http://www.usinenouvelle.com/article/le-vehicule-electrique-est-il-vraiment-ecologique.N223583, consulté le 15 mars 2015.
[240]HIRSCH & Al. Op.Cit., p.64.
[241]Ibid.
[242]Ibid, p. 59.
[243]Ibid, p.4

thermique en font partie. Des technologies complexes ou high-tech reposent sur une énorme chaîne logistique. Il faut en effet les fabriquer, les installer et en effectuer la maintenance. Un grand réseau d'éoliennes ou de centrales solaires nécessite en parallèle la mise en place de systèmes de gestion des flux énergétiques. Pour des technologies de pointe, l'expertise et les moyens industriels coûteux reposent sur un petit nombre d'acteurs qui seuls possèdent le réseau de fabrication et de distribution de pièces détachées, diminuant d'autant la résilience du système.[244]

Les entreprises privées sont incapables de répondre rapidement à de tels défis à moins d'être fortement encadrées.[245] En effet, il importe ici de réduire la consommation non seulement d'énergie, mais aussi de réduire drastiquement le « consumérisme » et de tenir compte de facteurs tels que l'énergie grise et l'effet rebond. Il s'agit également de minimiser les pertes dues à la transformation d'énergie primaire en énergie utile (concept d'exergie). Ces objectifs iraient à l'encontre de nombreux objectifs financiers et commerciaux à court terme inhérent au secteur privé. Or, comme le souligne Meadows, « *Quand quelqu'un se préoccupe d'économie verte, il est plutôt intéressé par l'économie et moins par le vert.* ».[246]

Un autre risque serait une perte de temps due à des projets qui pourraient être antinomiques avec les actions d'autres entreprises privées. Newell et Paterson citent à ce sujet le développement anarchique des voies de chemins de fer dans l'ouest américain au 19ème siècle.[247]

La mise en place d'un tel scénario implique qu'il n''y aurait dans aucun domaine une seule alternative, mais plutôt un mix de solutions. Au vu de l'augmentation prévisible des coûts de l'énergie, il importe que cette transition, pour être efficiente, soit mise en place le plus rapidement possible. En effet, plus cette transition sera tardive, plus les mesures a prendre seront coûteuses, difficiles et radicales.[248] Les changements à appliquer impliquent l'utilisation de nombreuses ressources. Or l'accès à ces ressources nécessite de l'énergie, beaucoup d'énergie, à un moment ou cette énergie devient de plus en plus chère. Comme le dit Jancovici, « *transformer le monde qui nous entoure ou utiliser de l'énergie, c'est* très exactement *la même chose.* ».[249]En supposant cependant que ce scénario soit viable dans le long terme, tenant compte notamment des limites liées à un monde fini, il est probablement trop tard pour imaginer le mettre en œuvre à grande échelle de manière efficace. En effet, même en faisant abstraction de la raréfaction de l'énergie et de l'épuisement des minéraux indispensables à cette transition, un plan international de grande ampleur nécessaire au passage à un tel scénario nécessite de nombreuses années pour pouvoir porter ses fruits. C'est une des conclusions du rapport Hirsch.[250]

---

[244]BIHOUIX, Op. Cit.

[245]MALYSHKINA Nataliya, NIEMEIER Debbie. Future sustainability forecasting by exchange markets : basic theory and application. Cité par PARKS. Op. Cit. p.119.

[246]« Le scénario de l'effondrement l'emporte », Libération du 15 juin 2012, http://www.liberation.fr/terre/2012/06/15/le-scenario-de-l-effondrement-l-emporte_826664, consulté le 18 mars 2015..

[247]NEWELL Peter & PATERSON Matthew, Op.Cit., p. 192.

[248]« La « révolution verte » de l'Allemagne coûterait mille milliards d'euros », http://www.euractiv.fr/energie/la-revolution-verte-de-allemagne-news-517979#.USXZgxooii8.twitter, consulté le 15 mars 2015

[249]JANCOVICI Jean-Marc. Transition énergétique pour tous – Ce que les hommes politiques n'osent pas vous dire.

[250]Les conclusions de ce rapport se trouvent en annexe 8.

13.3. Résilience

Ce scénario est clairement le plus difficile à anticiper et à expliquer. Il correspond à une simplification « choisie » de la société. Selon le concept d'empreinte écologique, il s'agirait de revenir à une société qui peut vivre selon les capacités de son environnement. En tant que tel, sa généralisation semble actuellement utopique. Il s'agirait, pour les habitants des pays occidentaux de diminuer leur « empreinte » énergétique et écologique.[251]Il n'est évidemment pas question de remettre en cause les progrès, les technologies et les connaissances acquises et maîtrisées. Le passage de la société actuelle à une société résiliente implique cependant un changement total et radical de paradigme. Il s'agit ni plus ni moins que de repenser la société en général en tenant compte des contraintes physiques de l'environnement. Une société résiliente serait, sous certains aspects, très proche de ce que les États-Unis ont vécu durant la Seconde Guerre mondiale, une « écologie de guerre ». Afin de sauvegarder les ressources, le responsable du bureau de conservation de la capacité industrielle, Lessing Rosenwald, appelait ses compatriotes à « *passer d'une économie de gaspillage à une économie de conservation* ».[252]

Ces changements seront systémiques et holistiques, tous les aspects de nos sociétés devant être adaptés : transports, agriculture et agrochimie, économie, habitat, santé, industries, mais aussi politique, domaine socio-économique, culture,... Il est impossible, en l'état actuel des choses, de donner un aperçu général de ce que serait un monde résilient. En effet, les indispensables modifications de mode de vie qu'implique ce scénario varient d'un endroit à l'autre.

Au niveau national, pour ne présenter que celui-ci, les contraintes ne sont pas les mêmes pour une ville de grande taille située en Flandre comme Gand que pour une petite commune ardennaise. Les solutions adoptées seront donc locales.

Cependant, deux principes ressortent du concept : la relocalisation et la rationalité. Il s'agirait en effet de ne plus autant dépendre des transports et d'éviter les gaspillages, qu'ils soient d'énergie ou de ressources naturelles. Il s'agit, pour les partisans de ce scénario, de relocaliser l'économie, l'agriculture, la politique et de réfléchir à une utilisation cohérente de l'énergie à notre disposition.

Un des problème de ce scénario est le manque d'industries dans nos sociétés. En effet, de nombreuses productions indispensables à la société telles que les industries métallurgiques, pour ne citer qu'elles, sont en effet délocalisées dans des pays émergents. Le corollaire de cette délocalisation est la perte de nombreuses compétences dans ces mêmes secteurs.

Il s'agirait également de simplifier la technologie, de ne garder que la technologie jugée utile et indispensable pour les différents secteurs en limitant les technologies dispendieuses en énergie et en ressources naturelles.[253]

Imaginer la mise en place d'un tel scénario à l'échelle d'un pays ou d'un continent relève actuellement de l'utopie. Il faudrait en effet une décision politique forte, ce qui dans un système démocratique tel que le nôtre nécessiterait de convaincre la population à grande échelle et semble donc impossible au-delà d'un certain niveau de pouvoir. De plus, la relocalisation indispensable à ce scénario est incompatible avec une importante centralisation des décisions à un niveau élevé.

---

[251]Les deux sont en effet intimement liés.

[252]« Home-Front Ecology, what our grandparents can teach us about saving the world » Sierra Club, Mike Davis, juillet/août 2007, http://vault.sierraclub.org/sierra/200707/ecology.asp, consulté le 20 mars 2015.

[253]BIHOUIX Philippe. L'âge des low-tech – vers une civilisation techniquement soutenable.

Dans un tel scénario, des instances nationales voire supra-nationales dictent de grands principes à suivre et l'application se fait au plus près du terrain. Une des particularités de ce mouvement est donc un retour à une démocratie participative, seule à même de mobiliser et de soulever l'adhésion de la population.

D'un point de vue sociologique, un « *tipping point* » est un point de basculement entre une situation de départ donnée et une autre. D'après des études menées par des chercheurs de l'université de Rensselaer aux États-Unis, il semblerait que le point de basculement d'une idée soit de 10 %.[254] Autrement dit, si 10 % d'une population « choisit » une autre voie, dans le cas présent la résilience, c'est celle-ci qui est ensuite adoptée par l'ensemble de la population.

De telles initiatives voient le jour localement, poussées par des citoyens parfois soutenus par des élus locaux. Un « réseau de villes en transition »[255] s'est créé aux quatre coins du monde. Un exemple proche de commune en « transition » est la commune luxembourgeoise de Beckerich. Cette commune vise entre autres l'autonomie énergétique totale pour 2020-2022.

La résilience, dans l'état actuel des choses, ne peut être mise en place, via des décisions politiques, qu'aux plus bas niveaux. Ce scénario semble le plus souhaitable dans le cas où il est probablement trop tard pour la mise en place d'un scénario de développement durable.

13.4. Effondrement

Pour ce scénario, l'effondrement de la société contemporaine sera considéré selon la définition donnée par Y. Cochet. Il s'agit d'une suite d'événements à l'issue desquels les besoins de base (eau, alimentation, logement, habillement, énergie, mobilité, sécurité) ne sont plus fournis à une majorité de la population par des services encadrés par la loi.[256]

Une société en situation d'effondrement serait caractérisée par une simplification subie. Les conséquences de cette simplification sont les suivantes :[257]

- la déstratification : les sociétés deviennent plus égalitaires et plus homogènes ;
- la déspécialisation : les individus, les groupes, les territoires deviennent plus multifonctionnels ;
- la décomplexification : les échanges entre populations tels que les marchandises ou les informations se réduisent ;
- la déstructuration : les structure sociales étatiques deviennent impuissantes et laissent la place à des structures locales ;
- le dépeuplement : La population diminue drastiquement suite à la diminution des structures médicales et à l'apparition de maladies.

Une telle simplification peut se produire de deux manières. Cet effondrement peut être soit rapide, de l'ordre de quelques mois ou années, il s'agit alors d'un effondrement catastrophique. Soit lent, de l'ordre d'un ou deux siècles, il est alors catabolique.[258]

Un effondrement extrêmement rapide en quelques jours ou quelques semaines semble exclu. Pour qu'un tel scénario se produise, il faudrait le concours de causes extérieures telles que des événements géopolitiques qui limiteraient de façon rapide et durable une

[254] « Minority Rules: Scientists Discover Tipping Point for the Spread of Ideas », http://news.rpi.edu/luwakkey/2902, consulté le 20avril 2015.
[255] https://www.transitionnetwork.org/, consulté le 20 mars 2015
[256] COCHET Yves. L'effondrement, catabolique ou catastrophique ?
[257] Op.Cit.
[258] Op. Cit.

ou plusieurs ressources vitales[259], une catastrophe naturelle ou industrielle comme des attentats particulièrement bien organisés et préparés[260], une cause plus « exotique » comme par exemple une épidémie[261] ou, pour un petit pays tel que la Belgique, un accident nucléaire. Un événement du type de celui de Fukushima ou de Tchernobyl impliquerait le déplacement de centaines de milliers de personnes. Une zone d'exclusion de 20 kilomètres, périmètre qui fut appliqué au Japon, autour de Doel inclut par exemple la ville d 'Anvers et sa zone portuaire.

Un effondrement économique dû à la combinaison de la fragilité du système financier, à la structure économique de nos systèmes et aux effets du pic pétrolier pourrait être catastrophique. Selon François Roddier : « *Si une nation ne s'arrête pas de fonctionner du jour au lendemain, une entreprise en faillite le fait. Lorsqu'un grand nombre d'entreprises tombent en faillites au même moment, on parle d'effondrement économique. Comme beaucoup dépendent les unes des autres, elles s'arrêtent de produire toutes ensembles (…). L'effondrement économique a bien les caractères d'une transition abrupte.* ».[262] Au delà d'un certain seuil, la société ne peut plus se relever seule.

Ce scénario est possible, comme en témoignent les événements de septembre 2008 et le désarroi créé dans les hautes sphères par la crise des subprimes.[263] Sept ans après ces événements, la situation économique est toujours délicate. Selon The Guardian, lors de l'édition 2015 du Forum de Davos, un ancien directeur de Hedge fund a déclaré que certains de ses collègues se préparaient à fuir dans des régions éloignées par peur des conséquences de l'accroissement des inégalités inhérentes à un effondrement économique : « *I know hedge fund managers all over the world who are buying airstrips and farms in places like New Zealand because they think they need a getaway.* ».[264]

Dans ces conditions, et c'est bien la définition de l'effondrement donnée plus haut, les besoins de base des populations ne seront plus en mesure d'être fournis. Ces problèmes sont évidemment de taille et de nature à créer d'énormes tensions au sein des populations, à fortiori si l'effondrement est relativement rapide. En effet, de nombreuses compétences indispensables à une vie plus simple se sont perdues au cours des dernières dizaines d'années, rendant l'adaptation à cette nouvelle situation d'autant plus problématique.

La nourriture et principalement l'approvisionnement des villes dépend de stocks extérieurs. Les villes ont pu croître et ont été organisées autour de ces approvisionnements. Carolyn Steel, dans son livre « *Hungry city - How food shapes our lives* » retrace le cheminement et l'importance de ces flux : « *When you consider that every day for a city the size of London, enough food for thirty million meals must be produced, imported, sold, cooked, eaten and disposed of again, and that something similar must happen every day for every city on earth, it is remarkable that those of us living in them get to eat at all.* ».[265]

---

[259]TAINTER Joseph. Op. Cit.p.50.

[260]« Ces drones sont en train de cartographier les centrales », interview de Bruno Comby, 03 novembre 2014, RMC, émission « Bourdin direct », http://rmc.bfmtv.com/mediaplayer/video/bruno-comby-ces-drones-sont-en-train-de-cartographier-les-centrales-344268.html, consulté le 20 mars 2015.

[261]TAINTER, Op.Cit.

[262]RODDIER François. La thermodynamique des transitions économiques.

[263]« Alan Greenspan fait part de son "grand désarroi" », LE MONDE du 25 octobre 2008, http://www.lemonde.fr/la-crise-financiere/article/2008/10/25/alan-greenspan-fait-part-de-son-grand-desarroi_1111060_1101386.html, consulté le 31 mars 2015.

[264]« As inequality soars, the nervous super rich are already planning their escapes », The Guardian du 2 janvier 2015, http://www.theguardian.com/public-leaders-network/2015/jan/23/nervous-super-rich-planning-escapes-davos-2015, consulté le 13 avril 2015.

[265]STEEL Carolyn. Hungry city- How food shapes our lives. p.ix.

Ces villes sont donc extrêmement vulnérables, comme l'ont montré les événements de Londres lorsque en septembre 2000, des fermiers et des conducteurs routiers ont bloqué certains points clés pour protester contre des mesures gouvernementales.[266] En cas de choc important, comme un effondrement économique brutal, il faut donc s'attendre à des mouvements de populations cherchant à quitter les grands centres urbains.

L'armée suisse prend ce scénario au sérieux, comme en témoigne l'exercice-cadre intitulé « *Stabilo Due* » effectué en septembre 2012.[267] La situation générale de cet exercice est un chaos social engendré par un effondrement économique des pays du sud de l'Europe. En août 2013 eut lieu « *Duplex-Barbara* », un autre exercice du même type orienté cette fois vers des troubles causés par une déroute financière en France.[268] La Brigade d'Infanterie 2 de l'Armée suisse a, lors d'une conférence, accueilli l'essayiste Piero San Giorgio, auteur du livre « Survivre à l'effondrement économique ».[269] et adepte du survivalisme, pour exposer son point de vue lors du rapport annuel 2013.[270] D'après P. San Giorgio, l'armée suisse dispose d'une cellule dédiée à la préparation de tels événements.[271]

Un effondrement systémique catabolique, lié uniquement au dépassement du pic pétrolier prendrait plus probablement la forme d'une succession de crises économiques entrecoupées de périodes de récession et s'étalerait sur une longue période de l'ordre de plusieurs dizaines d'années. C'est en tout cas ce que la théorie du plateau de production laisse à penser. Pour certains, un tel effondrement aurait déjà commencé. John Michael Greer cite la date de 1974 et la fermeture du cœur industriel des États-Unis.[272]

Un tel scénario, de par sa durée, permettrait à la société de s'adapter au fur et à mesure.

Bien que l'effondrement soit un scénario à prendre en compte, son déroulement recèle une infinité d'inconnues : la rapidité à laquelle il pourrait se produire, la forme qu'il pourrait prendre, les réactions de la société face à ces changements,… Il importe donc de réduire le nombre d'*inconnues inconnues* au maximum afin de pouvoir au mieux faire face à la situation, loin de l'urgence engendrée par le manque de préparation.

---

[266] CHURCH Norman. Systems and interdependencies and their effect on peak oil. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.zo.utexas.edu%2Fcourses%2FTHOC%2FSystemsInterdependency.doc&ei=qhUwVZ2ZBY32aJqhgYAP&usg=AFQjCNFACQx8wHD7-iMmAVb86qdwARDX0A&bvm=bv.91071109,d.d2s, consulté le 16 avril 2015.

[267]« Un exercice de l'armée suisse fait jaser jusqu'aux USA », La tribune de Genève du 18 octobre 2012 http://www.tdg.ch/suisse/Un-exercice-de-l-armee-suisse-fait-jaser-jusquaux-USA/story/21024571, consulté le 20 mars 2015

[268]« Un exercice militaire suisse simule l'attaque d'une France surendettée », Le Monde du 29 septembre 2013, http://www.lemonde.fr/europe/article/2013/09/29/un-exercice-militaire-suisse-simule-l-attaque-d-une-france-surendettee_3486756_3214.html, consulté le 20 mars 2015.

[269]SAN GIORGIO P. « Survivre à l'effondrement économique ». Aube, Le retour au sources,2011. 422p. ISBN : 978-2355120404

[270]Société Vaudoise des Officiers, http://www.ofvd.ch/events/assemblee-generale-du-groupement-lausanne-2/

[271]Information recueillie lors d'une discussion suite à une conférence donnée à Liège le 27 novembre 2013. Cette information est non-confirmée par ailleurs.

[272]GREER John Michael. The Onset of Catabolic collapse. http://thearchdruidreport.blogspot.be/2011/01/onset-of-catabolic-collapse.html, consulté le 14 avril 2015.

14. Enchaînement des scénarios

Précédemment, seules la problématique énergétique et, indirectement, celle des ressources ont été abordées. Cependant, ces problématiques traitées seules n'ont aucun sens. En effet, la destruction des écosystèmes, la démographie, le réchauffement climatique, les diverses pollutions ne sont pas prises en compte dans ce travail. Or de nombreuses interactions entrent en jeu. Il importe donc d'avoir une approche holistique. Il existe à l'heure actuelle de nombreux auteurs et de nombreuses sources qui en traitent par ailleurs.[273] La carte blanche parue dans Le Monde en avril 2011 et signée par Michel Rocard, Dominique Bourg et Floran Augagneur est sans appel et laisse peu de place aux tergiversations.[274]

Le scénario du développement durable est une évolution du scénario de stagnation. Comme lui, il présuppose une complexification accrue. Cette évolution est cependant facultative et peut, en fonction des choix que feront les sociétés et leurs dirigeants, ne pas avoir lieu.

Comme nous l'avons vu, l'application d'un tel scénario peut se faire de deux manières : laisser faire le marché selon un principe d'efficience économique, au risque de faire perdurer des aberrations énergétiques ainsi qu'un système à peine moins complexe et donc à peine moins vulnérable que le système actuel ou imposer le passage à un tel scénario via des décisions politiques supra-nationales. Ces impositions prendraient alors la forme d'une « économie de guerre » et dicteraient aux acteurs du marché la ligne de conduite à suivre. Il en est de même pour un scénario de résilience. Ce dernier possède le désavantage d'être, en l'état actuel des choses, difficilement audible et acceptable par la population. Il est difficile, pour la majorité d'entre nous, d'imaginer renoncer, entre autres, à nombre d'avantages offerts par le confort moderne ou à des libertés que la majorité de la population considère comme définitivement acquises.[275] Du point de vue politique, l'évocation d'un tel message équivaudrait à un « suicide politique ».[276] Difficile en effet, à l'instar de Churchill lors de son célèbre discours du 13 mai 1940 devant la chambre des communes, de ne proposer rien d'autre que de la sueur et des larmes, le sang pouvant ici être épargné. Or, comme le rappelle l'OCDE, « *Faute de nouvelles politiques, les progrès réalisés pour réduire les pressions sur l'environnement ne suffiront pas à compenser les impacts liés à la croissance économique.* ».[277] Vu les atermoiements des dernières conférences sur le climat, cette éventualité semble peu probable. Quoi qu'il en soit, ces deux scénarios mèneront à terme à une simplification.

Au cours de l'histoire, toutes les civilisations du passé se sont, à un moment ou à un autre, effondrées. Certaines rapidement et soudainement comme la civilisation de l'île de Pâques. Selon Jared Diamond : « *L'effondrement de la société Pascuane suivit rapidement le moment où elle avait atteint un pic démographique, où la construction de*

[273]Le livre de SERVIGNE & STEVENS, « Comment tout peut s'effondrer » est une référence de premier ordre sur ces sujets.
[274]ROCARD Michel, BOURG Dominique et AUGAGNEUR Floran. Le Monde du 02 avril 2011. http://www.lemonde.fr/idees/article/2011/04/02/le-genre-humain-menace_1502134_3232.html, consulté le 14 avril 2015. Les auteurs de cette carte blanche sont respectivement ancien premier ministre, professeur à la faculté des géosciences et de l'environnement de l'université de Lausanne et enseignant de philosophie de l'écologie à l'Institut d'études politiques de Paris.
[275]Voir Meadows & Al., Op. Cit.
[276]Terme employé par Yves Cochet.
[277]OCDE. Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 : Les conséquences de l'inaction – Synthèses. Op Cit.

monuments était intensive et où l'impact humain sur l'environnement était le plus marqué. ».[278] Pour certaines, comme pour l'empire romain, plusieurs siècles furent nécessaires. D'autres sont passées par des phases d'effondrement partiel suivies de phases de croissance. Ces civilisations, les civilisations égyptiennes et chinoises par exemple, ont donc pu durer quelques milliers d'années. Notre civilisation moderne ne fera pas exception. Il importe pourtant de savoir quand et comment se déroulera cet effondrement. Sera t-il rapide et global ou lent et diffus ? Quelle qu'en soit la forme, il est impossible cependant de prévoir une période précise. Des expériences scientifiques démontrent qu'il est possible de prévoir l'effondrement de certains systèmes simples. Des « bruits » permettent d'anticiper un effondrement jusqu'à plusieurs générations à l'avance. Dans le cas d'un système complexe, de telles prévisions sont, en l'état actuel de choses, impossibles. Dans son étude, Servigne et Stevens parlent également d'« effet de seuil ».[279] Un seuil est un point au delà duquel la survenue d'un événement est certain et irréversible. Les exemples qu'il utilise se rapportent principalement aux milieux naturels. Cette notion de seuil est pertinente en ce qui concerne l'évolution économique d'un pays.

Le nombre de facteurs et d'« *inconnues inconnues* » entrant en jeu est cependant immense. L'ancien ministre et mathématicien Yves Cochet parle d'un effondrement « *probable avant 2020 et certain avant 2030* ».[280] Le scénario étudié par le rapport Meadows indique également une échéance proche voire imminente. Ces deux prévisions prennent en compte de nombreux facteurs et pas uniquement le point de vue énergétique. Le ralentissement provoqué par la crise de 2008 permettra probablement de repousser quelque peu cette échéance.[281]

Comme le rappelle Ken Rogoff, ancien chef économiste du FMI, « *Les systèmes tiennent souvent plus longtemps qu'on ne le pense, mais finissent par s'effondrer plus vite qu'on ne l'imagine.* ».[282] La grande crise de 1929 semble être, en l'état actuel des choses, l'événement le plus approchant pouvant servir de base de ce à quoi pourrait ressembler un tel effondrement. Il faut cependant émettre deux différences de taille.

La première est que la politique mise en place pour sortir de la grande dépression qui s'ensuivit était basée sur une intervention massive des États investis dans de grands projets de construction. Cette possibilité est à écarter, dans le cas d'États déjà affaiblis suite à la crise de 2008.

La seconde est liée aux capacités de résilience que possédait alors une société plus locale, autonome et possédant plus de connaissance de métiers considérés aujourd'hui comme obsolètes. Songeons par exemple au transport largement dominé par la traction animale, aux capacités d'autosubsistance liées à la possession de jardins individuels, à la démographie plus faible et à la présence plus importante d'espaces pouvant être dédiés aux cultures. Bardi cite, pour la Belgique, le chiffre de 10 % en ce qui concerne la surface « bétonnée » du territoire.[283]

Les effondrements plus récents tels que celui de l'URSS survenu au début des années nonante, de l'Argentine en 2001 ou, plus récemment de la Grèce sont localisés et non systémiques. Ils représentent donc une illustration partielle d'un effondrement.

---

[278]DIAMOND Jared. Effondrement – Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie.
[279]SERVIGNE. Comment tout peut s'effondrer. Op.Cit.
[280]COCHET Yves. L'effondrement, catabolique ou catastrophique ?, Op.Cit. p.6
[281]UK INDUSTRY TASKFORCE ON PEAK OIL & ENERGY SECURITY (ITPOES). The Oil Crunch - A wake-up call for the UK economy, Second report. p.26.
[282]Cité par SERVIGNE
[283]BARDI, Op. Cit. p.306.

Il est à remarquer que la survenue de l'effondrement de l'URSS s'est produit quelques années après le passage d'un pic de production pétrolière. Celui-ci fut dépassé en 1988.[284]

L'URSS, bien que grande puissance mondiale ne possédait pas, en dehors de ses frontières, de fournisseur conséquent d'hydrocarbures. Une relation directe de cause à effet entre ces événements serait cependant trop simpliste, une série d'autres facteurs tels que le système bureaucratique désuet et une mauvaise gestion des ressources entrant entre autres en jeu.[285]

Une des conséquences directes de cet effondrement fut la rupture des approvisionnements de Cuba.[286] Cette rupture des approvisionnements a causé dans ce pays de nombreux problèmes, au point de vue énergétique, bien sûr, mais également au niveau de l'agriculture.[287]

Afin d'imaginer à quoi pourraient ressembler les étapes d'un effondrement, le modèle d'acceptation du deuil développé par la psychologue Elisabeth Kübler-Ross relève d'une certaine logique et semble approprié. Celle-ci a décrit les étapes d'un deuil en 5 stades successifs : le déni, la colère, le marchandage, la dépression et l'acceptation. Cette suite est trop schématique pour permettre de décrire toutes les nuances du comportement humain.

De nombreux facteurs tels que l'urbanisation (capacité de produire de la nourriture, densité de population), la pyramide des âges (plus une société est « jeune », plus la tendance à la violence est marquée)[288], la capacité de résilience (compétences et connaissances de la population,...) entrent en effet en jeu.

Le premier stade est un déni de la réalité. Alors que les signaux d'alarme s'accumulent, ces informations passent inaperçues dans les débats publics ainsi que dans les médias. Lorsqu'ils sont connus, ces signaux sont ignorés. Le réchauffement climatique en est un bon exemple. Au niveau énergétique, certains affirment que les technologies pourront se substituer aux énergies présentes actuellement. Ces affirmations ne reposent cependant sur rien de concret ou sous-estiment d'autres facteurs.[289] Il existe effectivement d'autres moyens de produire de l'énergie. La fusion nucléaire en est un. Cependant, de par un manque de crédit et de nombreuses recherches à encore effectuer, ces techniques ne pourront voir le jour de manière pratique avant 15-20 ans.

Le deuxième stade est la colère. Cette colère peut-être assimilée à la montée de certains partis extrémistes, nationalistes ou populistes un peu partout en Europe. Des coupables doivent être désignés. Ce sont pour les uns les étrangers, pour les autres les riches, la classe politique, les banquiers,… Ce stade pourrait -être particulièrement violent en cas d'effondrement catastrophique. À ce stade commenceront des crises sociales et politiques.

Le troisième stade, le marchandage cherche à rassurer et à trouver des solutions alternatives. Les États, confrontés à une perte de confiance de la part de leur population, cherchent à regagner leur légitimité par tous les moyens. Le but est d'entrevoir un espoir.

---

[284]JANCOVICI. http://www.manicore.com/~pascalrene/documentation/petrole/pic_passe_petrole.html, consulté le 20 avril 2015.
[285]REYNOLDS Douglas B. « Peak oil and the Fall of the Soviet Union: Lessons on the 20th Anniversary of the Collapse ». http://www.theoildrum.com/node/7878, consulté le 20 avril 2015.
[286]ODLAND, Op. Cit. p.60.
[287]ARAUD Christian & SERVIGNE Pablo. La transition inachevée - Cuba et l'après-pétrole.
[288]AARTS Paul & Al. From Resilience to Revolt Making Sense of the Arab Spring, p.35, consulté le 24 avril 2015.
[289]« Pourquoi Rifkin fait fausse route », Op. Cit.

Le risque est grand, lors de cette phase, de voir le déclenchement de guerres visant à s'approprier des ressources, des territoires ou à retrouver une fierté nationale perdue.

Le quatrième stade est la dépression. Les membres de la société sont confrontés au désespoir. Aucun avenir à long terme n'est entrevu. Il s'agit de vivre au jour le jour. Lors de l'effondrement de l'URSS, cette phase fut caractérisée par un effondrement de la sécurité de par l'apparition de criminalité endémique, la destruction des services sociaux et des infrastructures, la hausse des maladies, la baisse de l'espérance de vie, etc.[290] Dans les cas extrêmes, une situation telle qu'un État failli comme en Somalie n'est pas à exclure.

Le cinquième et dernier stade est l'acceptation. Les faits sont acceptés, il faut reconstruire ce qui peut l'être. Atteindre ce stade peut prendre beaucoup de temps et plus ce temps sera long, plus la reconstruction d'une société sera difficile, les différentes infrastructures ayant été plus ou moins endommagées.

La figure suivante montre à quoi pourrait ressembler le « *tipping point* » qui mènerait soit à un effondrement soit à une simplification choisie ainsi que les étapes qui s'y rapportent :

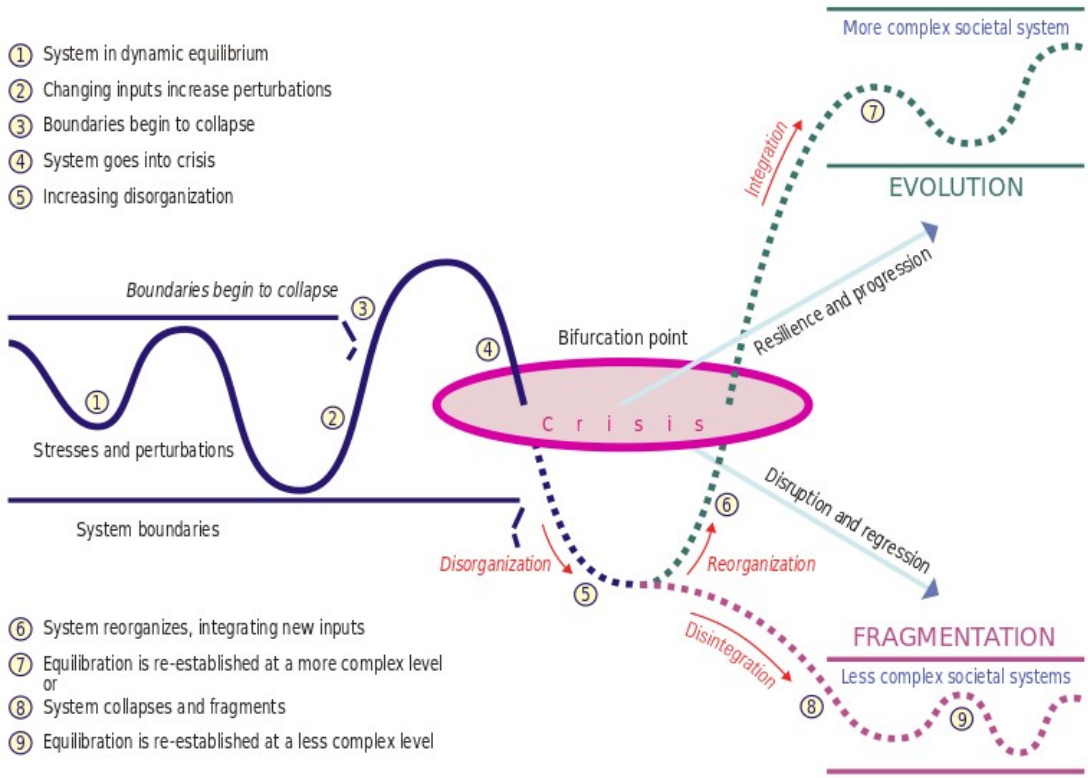


Figure 19: Effondrement et transformation : modélisation (Source : bestfuture.com)

[290]ORLOV. « Reinventing collapse : The soviet experience and American prospect », NewSociety, Gabriola Island, 2008. Cité par BARDI, Op. Cit. p.392.

15. Conséquences du pic pétrolier pour la sécurité énergétique en Belgique

Lors de la rédaction de ce travail, il est apparu que la problématique du pic pétrolier était au mieux peu ou mal comprise et au pire quasiment inconnue au sein de la Défense. Ce n'est pas le cas pour d'autres nations telles que les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Allemagne ou encore l'Australie.

Voici ce qu'en dit le Lieutenant-Colonel Davis de l'U.S.Army : *« A lot of high-ranking officials are starting to ask exactly these hard questions about the sustainability of the current energy system. You've got to remember that for the military, it doesn't matter what you want to do. What matters is what you can do, and it's our top priority to make sure we understand potential limits to our operational capability. Even the EIA is forecasting that we could see a peak of shale production by 2018 followed by a plateau and decline, and the Pentagon knows this. But our transport infrastructure is totally dependent on liquid fuels. How are we going to sustain that infrastructure with these decline rates? That's why serious questions are being asked by high level US military officials as to what exactly the Army, as well as American society in general, is going to do to address this challenge. ».*[291]

Cette citation officieuse fut prononcée lors du « *Transatlantic Energy Security Dialogue* » en décembre 2013. Voici ce qu'en dit le *Joint Operation Environment* 2010, une publication officielle : « *A severe energy crunch is inevitable without a massive expansion of production and refining capacity. While it is difficult to predict precisely what economic, political, and strategic effects such a shortfall might produce, it surely would reduce the prospects for growth in both the developing and developed worlds. Such an economic slowdown would exacerbate other unresolved tensions, push fragile and failing states further down the path toward collapse, and perhaps have serious economic impact on both China and India. At best, it would lead to periods of harsh economic adjustment. (...) One should not forget that the Great Depression spawned a number of totalitarian regimes that sought economic prosperity for their nations by ruthless conquest.* ».[292]

15.1. Scénarios possibles suite au passage du pic pétrolier

Sarah Odland, dans sa thèse publiée en 2006[293] donne une grille d'analyse d'issues possibles selon deux facteurs : la transition (graduelle ou abrupte) et le niveau de planification de cette fin du pétrole bon marché (chaotique ou fortement préparée).[294] L'auteur de cette étude fait remarquer à juste titre que ce ne sont pas les seules issues possibles. Cette grille d'analyse permet cependant de cerner 9 scénarios, des plus « catastrophistes » (Nuclear Armageddon, Resource Wars et Road Warrior) dans le cas d'une planification chaotique, aux plus « favorables » (Local Economies/Community Solutions et Sustainable World Economy).[295]

[291]« US Army colonel: world is sleepwalking to a global energy crisis », The Guardian, 17 janvier 2014, http://www.theguardian.com/environment/earth-insight/2014/jan/17/peak-oil-oilandgascompanies , consulté le 15 avril 2015

[292]UNITED STATES JOINT FORCES COMMAND, Op. Cit. p.28.

[293]ODLAND Sarah, Op. Cit.

[294]Op. Cit. p.58.

[295]Cette grille et les commentaires s'y rapportant se trouvent en annexe 7.

Un autre point de vue intéressant est ce qu'elle appelle « *identification de l'état de nature* ».[296] Il s'agit d'identifier la forme que prendrait le pic pétrolier. Les cinq schémas y afférents se trouvent en annexe 6.

Il semble intéressant de poursuivre et d'approfondir ces études, éventuellement en coopération avec d'autres SPF voire avec des universités civiles, afin de pouvoir dégager les possibilités les plus pertinentes et ce avec un maximum d'ouverture. Ce genre de recherche et de partenariat fut utilisé entre autres en ce qui concerne la détermination des points sensibles en Belgique.[297]

15.2. Sources d'approvisionnement et dépendances possibles

L'Europe ne possède, hormis la Norvège et le Royaume-Uni, qui tous les deux ont déjà passé leur pic de production, que peu de ressources pétrolières. Les différentes zones d'approvisionnement mondiales sont donc d'une importance stratégique pour l'Europe.

Un corollaire de ce constat est le rôle, déjà extrêmement important à l'heure actuelle, que joueront les SLOC's[298] à l'avenir. A cet égard, le rôle de la composante navale pour contribuer à assurer les approvisionnements futurs sera prépondérant. En effet, le commerce maritime et à fortiori le transport d'hydrocarbure est vital pour nos sociétés. Près de 85 % du volume commercial mondial utilise les transports maritimes. Les produits pétroliers représentent 30 % de ce volume.[299]

Comme nous l'avons vu plus haut, la consommation journalière de produits pétroliers (excluant donc les produits gaziers transportés également en partie par voie maritime) équivaut à la moitié du chargement d'un VLCC. Il s'agit donc, pour permettre l'approvisionnement dans le temps, d'assurer la sécurité des SLOC's.

Un quart de notre approvisionnement provient du Golfe Persique (Arabie Saoudite) et un sixième du Nigéria. Ces SLOC's sont donc primordiales. Provenant du Golfe Persique, deux routes s'offrent aux tankers. La première emprunte pas moins de cinq *choke points* : le détroit d'Ormuz, le détroit de Bab-el-Mandeb, le canal de Suez[300], le détroit de Gibraltar et la Manche. Ces deux derniers ne représentent à priori pas de risques, étant dans la sphère d'influence directe de pays européens. La seconde route contourne l'Afrique et est obligatoire pour les navires *Capesize*.[301] Le canal de Suez est particulier. En effet, c'est un endroit vital pour l'Égypte qui a tout intérêt à y assurer la liberté de transit. Il représente la troisième source de devise pour ce pays.[302] À l'heure actuelle, la sécurité de ce passage n'est pas remise en question.

La France possède sur deux de ces « *choke points* » des forces prépositionnées.[303]

---

[296]Op. Cit. p.54.
[297]DE KIMPE. Bescherming Vitale Infrastructuur – Welke rol voor Defensie. Kabinet Defensie.
[298]Sea Lines Of Communication
[299]Review of maritime transport 2014. UNCTAD.
[300]Le canal de Suez peut toutefois être emprunté par des supertanker, un oléoduc (SUMED) reliant Alexandrie et Suez permettant à ceux-ci de s'alléger pour le passage du canal. ROYER. Géopolitique des mers et océans. p.150.
[301]Les navires de commerces sont classés en fonction des détroits et des canaux qu'ils peuvent emprunter. Il existe ainsi les Panamax, les New Panamax (pouvant emprunter le canal de Panama une fois les travaux d'agrandissement terminés), les Suezmax. Les Capesize ne peuvent emprunter aucun des canaux (Panama et Suez).
[302]ROYER. Op.Cit.p.150.
[303]Djibouti sur le détroit de Bab-el-Mandeb et Émirats Arabes Unis proche du détroit d'Ormuz.

L'origine des approvisionnements français[304] est sensiblement la même que pour la Belgique et les Pays-Bas.[305] Du point de vue pétrolier, nos intérêts sont donc identiques. Les capacités navales françaises[306] et néerlandaises incluent les capacités d'une NATO Task Force.[307] Notre composante navale ne possédant pas une taille suffisante pour pouvoir jouer seule un rôle significatif, une coopération plus poussée avec ces marines pourrait permettre, en cas de problème, d'agir même en cas de blocages au niveau européen.

De nouvelles routes maritimes pourraient à l'avenir s'avérer stratégiques. La fonte des glaces en arctique pourrait permettre l'exploitation de gisements actuellement inaccessibles et ouvrir de nouvelles routes commerciales. Le basculement vers un scénario de développement durable pourrait de même mener à l'ouverture de nouvelles routes stratégiques en vue de sécuriser les approvisionnements en minéraux stratégiques.

Selon l'*Oil and Gas Journal*, plus de 60 % des réserves mondiales de pétrole se trouvent dans des pays relativement instables.[308]

Il est impossible, en l'état actuel des choses, de déterminer un seuil d'importation en dessous duquel le pays serait soumis à une trop grande dépendance en cas de rupture d'approvisionnement d'un de ses fournisseur. Il importe donc de continuer les fournitures provenant de plusieurs pays, de continuer les investissements pour diminuer la dépendance envers l'extérieur et de diversifier les types d'énergie, tout en sachant qu'il est impossible pour notre pays d'être totalement indépendant.

Les pays fournisseurs doivent idéalement posséder certains critères. Parmi ceux-ci, citons :

- l'importance des réserves pétrolières ;
- la capacité de production ;
- la stabilité politique et économique, la fiabilité ;
- la date prévue du pic pétrolier de ce pays et sa demande intérieure (Land - product effect) ;
- la situation géographique et les accès aux gisements ;
- la proximité historique et géographique avec d'autres grands pays importateurs.

15.3. Assurer les sources d'approvisionnement

15.3.1 Moyen-Orient

Le Moyen-Orient est la région qui recèle les plus grandes réserves d'hydrocarbure. Pour la plupart des pays du Moyen-Orient, les seuls revenus sont ceux liés au pétrole et au gaz. Les budgets de ces États sont basés sur les rentes énergétiques et ces budgets varient en fonction des cours du pétrole. Ces rentes permettent également d'acheter une certaine paix sociale et de museler d'éventuelles oppositions.

---

[304]Chiffre 2013 : 30 % proviennent de Russie, 18,1 % d'Arabie Saoudite, 9 % du Nigéria et 12 % de la mer du Nord. Les chiffres pour la Belgique se trouvent au paragraphe 1.9. http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATTEF11348, consulté le 30 avril 2015.

[305]Les sources d'approvisionnement des Pays-Bas sont la Russie, la Norvège, le Nigéria, le Royaume-Uni et l'Arabie Saoudite. http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=nl#pet, consulté le 30 avril 2015.

[306]ROYER. Op.Cit. p.115.

[307]Ibid. et Cours de « doctrine et d'opérations maritime », DN002, ERM

[308]GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. Crude Oil - Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production. p.4.

Les « printemps arabes » ont, dans une moindre mesure que dans les pays d'Afrique du Nord, aussi touché les pays du Golfe Persique. Les émeutes les plus violentes eurent lieu en 2008 aux Émirats Arabes Unis lorsque des ouvriers d'origine étrangère se sont révoltés suite à l'augmentation du coût de la vie. Ces tensions encouragent les dirigeants à augmenter les dépenses liées à la sécurité. Le cas de l'Arabie Saoudite est représentatif de la situation des pays du Golfe. Ce pays a, en mars 2011, planifié un plan de dépense publiques de 130 milliards de dollars pour contrer les effets potentiels d'un « printemps arabe ».[309] Les revenus liés au pétrole représentent 80 % de son budget. Selon le ministère arabe du pétrole, le prix du baril de pétrole devrait se situer entre 70 et 80$ le baril. Or, en dessous de 77$, le budget n'est plus en équilibre. La baisse du cours du brut observée ces derniers mois est donc dangereuse pour les finances de ce pays.[310] La consommation intérieure est relativement importante et en constante augmentation. Au moment des chocs pétroliers des années 70, la consommation était de 5 % de la production. Elle est passée à 15 % au cours des années 90 et représente actuellement 25 % de sa production.

Selon une étude du cabinet Chatham House, l'Arabie pourrait devenir importatrice nette en 2038 si sa consommation interne continue à augmenter au rythme actuel.[311] La guerre économique actuellement menée par l'Arabie ne pourra donc se poursuivre longtemps sans engendrer de conséquences économiques à long terme.[312]

L'Irak possède également d'immense réserves. Cependant, les deux dernières décennies ont laissé le pays en ruine. La reconstruction est en route, mais la normalisation des capacités de production prendra encore quelques années. En 2009, la Chine s'est imposée comme le premier opérateur pétrolier dans ce pays. En plein boom économique, la rentabilité économique entre peu en compte, l'important étant de prendre le contrôle de flux de brut et d'assurer la sécurité d'approvisionnement à long terme. CNPC, la compagnie étatique chinoise s'est octroyé près d'un quart des projets pétroliers irakiens à un prix que les sociétés privées ne pouvaient se permettre.[313] L'évolution de l'État Islamique est un facteur à prendre également en compte pour l'avenir de la production pétrolière de ce pays.

L'Iran constitue un cas à part dans cette région du monde. Ses réserves sont parmi les plus importantes. La récente signature d'accords concernant le nucléaire civil devrait mettre un terme à l'isolement de l'Iran sur la scène internationale et permettre la levée des sanctions liées au commerce de pétrole et de gaz, permettant ainsi d'augmenter l'offre de pétrole sur le marché mondial.[314]

La stabilité de cette région est intimement liée aux rentes pétrolières et gazières et donc aux cours du gaz et du pétrole.

---

[309]« Course de vitesse en Arabie saoudite », Le Monde du 18 juillet 2012, http://www.lemonde.fr/idees/article/2012/07/18/course-de-vitesse-en-arabie-saoudite_1735227_3232.html, consulté le 04 mai 2015.

[310]LAHN Glada et STEVENS Paul . Burning Oil to Keep Cool - The Hidden Energy Crisis in Saudi Arabia.

[311]Ibid..

[312]« Comprendre la chute vertigineuse des prix du pétrole », Le Monde du 18 décembre 2014, http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2014/12/17/20002-20141217ARTFIG00244-comprendre-la-guerre-du-petrole.php, consulté le 04 mai 2015.

[313]AUZANNEAU, Op. Cit. p.584.

[314]« Pas de retour à la normale pour le pétrole iranien avant 2016 », Reuters, 06 avril 2015, http://fr.reuters.com/article/businessNews/idFRKBN0MX0PF20150406?pageNumber=1&virtualBrandChannel=0, consulté le 04 mai 2015.

15.3.2 Russie

La Russie a toujours été un important exportateur de pétrole. La Russie possède, au point de vue énergétique, plusieurs avantages. Le premier d'entre eux sont les gigantesques réserves de pétrole et de gaz. Bien que le pic de production fut dépassé en 1987 et que les taux de déclin de certains champs de production de pétrole conventionnel soient de l'ordre de 6 %[315], ce pays est en 8ème position en termes de réserves avec 93 Gb.[316] Le second est la proximité avec l'Europe qui permet grâce à un dense réseau de pipelines, son approvisionnement. Un troisième avantage est que outre le pétrole, le sous-sol russe recèle de nombreuses ressources minérales.

À l'heure actuelle, le problème de la Russie provient de son manque de diversification dans son économie et ses industries. La dépendance aux cours des matières premières est importante. De ce fait, la Russie est incapable d'activer d'autres leviers que la force pour imposer son point de vue sur la scène internationale. Les échanges entre l'Europe et la Russie, énergie contre capitaux, permettraient de créer des liens commerciaux garants d'une certaine stabilité pour l'ouest du continent eurasien.

Faute de tels liens, la Russie développera sa coopération avec la Chine. Ces relations sont déjà bien engagées et se sont renforcées depuis le début de la crise ukrainienne. Du point de vue énergétique, la Chine souffre du même handicap que l'Europe : son manque de ressources. Ces relations sino-russes mèneront à terme à un glissement du centre de gravité géopolitique du continent eurasiatique vers l'est.

15.3.3 Caucase et Mer Caspienne

Située au nord du Moyen-Orient, cette région fait également partie de ce que l'on appelle l'« ellipse stratégique ». C'est dans cette région que furent découverts, respectivement en 1979 et en 2000, les gisements de Tengiz et de Kashagan. Ce sont les deux plus grands gisements de ces trente dernières années. Cependant, l'exploitation de ces gisements est techniquement difficile, et a pris énormément de retard.[317] La situation géographique de cette région pourrait également s'avérer problématique. Enclavée entre l'Iran et la Fédération de Russie, l'utilisation de cette région comme fournisseur futur implique la normalisation des relations entre l'Europe et ces deux États ainsi que la construction de pipelines actuellement à l'état de projet.

15.3.4 Afrique

De nombreux pays africains possèdent des ressources pétrolières. Les plus importants sont la Libye, le Nigeria et, dans une moindre mesure, l'Angola et l'Algérie.

Le Nigeria étant un des principaux fournisseur de la Belgique, sa stabilité intérieure est importante. Or le Nigeria étant fortement dépendant de ses exportations pétrolières, la récente baisse des cours pourrait à terme engendrer des difficultés pour la stabilité du pays. Les exportations de pétrole représentent en effet 80 % de ses recettes.[318] Une éventuelle extension du groupe terroriste Boko Haram, principalement actif dans le nord pourrait à l'avenir devenir problématique en cas d'extension vers le sud et les régions de production de pétrole

[315]MINSTER Jean-François, cité par AUZANNEAU, Op. Cit. p. 613.
[316]BP-Statistical_Review_of_world_energy 2014 - workbook
[317]AUZANNEAU. Op. Cit. p.617.
[318]« Pétrole. Le Nigeria en appelle à l'Opep », Le Courrier International du 03 mars 2015. http://www.courrierinternational.com/article/2015/02/24/le-nigeria-en-appelle-a-l-opep, consulté le 12 mai 2015.

Outre son excellente qualité et ses réserves, les plus importantes d'Afrique, le pétrole Libyen est un des plus accessible pour l'Europe. Cependant, suite aux événements de 2011, le marché pétrolier est partagé entre un gouvernement dissident, contrôlant la NOC historique et installé dans la capitale Tripoli et le gouvernement légitime à l'Est qui, en mars 2015, a crée une seconde NOC.[319] Un retour à la stabilité de ce pays, permettrait d'assurer à l'avenir une meilleure continuité des exportations et permettrait à la Belgique d'avoir une source supplémentaire d' approvisionnement.

15.3.5 Balkans

Cette région ne possède pas de gisements pétroliers conséquents. Cependant, sa position géographique en fait un acteur incontournable pour le transit énergétique en provenance de Russie et du Caucase. En effet, qu'ils passent par l'Ukraine ou par la Turquie, les oléoducs et gazoducs déjà construits ou en projet empruntent majoritairement cette région. Cette position stratégique entraîne de nombreux changements dans les alliances traditionnelles de cette région. Pour de nombreux pays de cette région, la Russie est encore un partenaire incontournable. Or, ces dernières années et l'entrée de certains de ces pays dans l'UE et/ou dans l'OTAN, ces États doivent composer avec ces différents acteurs et leurs intérêts pour pouvoir émerger sur le plan international. Le nationalisme toujours important dans nombre de ces pays pourrait à terme entraîner des tensions. Il est donc primordial que l'intégration européenne de ces pays se poursuive.[320]

15.4. Politique étrangère

La Belgique est un pays trop petit sur la scène internationale pour faire face seule aux défis énergétiques futurs. Nous sommes en effet largement dépendants de l'extérieur pour toutes nos sources d'énergie, les énergies « vertes » nous procurant certes une (petite) part locale de notre approvisionnement, mais nécessitant des technologies et une logistique étrangères. Une telle indépendance d'action n'aurait d'ailleurs aucun sens pour un pays situé au cœur de l'Europe et carrefour commercial et logistique pour des millions d'habitants des pays voisins. Le domaine de l'énergie, avec ses nombreuses interconnections, que ce soit au niveau des oléoducs, des gazoducs ou du réseau électrique n'échappe pas à ce constat, l'interconnexion étant totale.

Une des inconnues les plus importantes est la position que prendront les États-Unis en cas de choc ou de rupture d'approvisionnement. Leur consommation dépasse 20 % de la consommation mondiale. Bien que leur stratégie énergétique s'appuie largement sur des accords économiques, ne risquent-ils pas de jouer cavaliers seuls afin de pourvoir à leurs besoins ? Selon le *Government Accountability Office*[321] (GAO), l'organisme d'audit, d'évaluation et d'investigation du Congrès des États-Unis, les USA sont un des pays les plus dépendants au pétrole et sont de ce fait particulièrement vulnérables. Cette dépendance est considérée comme une menace pour la sécurité nationale.[322et323]

Le « boom » du pétrole de schiste a cependant temporairement quelque peu tempéré cette dépendance vis-à vis du pétrole étranger.

---

[319]« Libye: le gouvernement reconnu veut exporter son pétrole », RFI, 05 avril 2015, http://www.rfi.fr/afrique/20150405-libye-le-gouvernement-reconnu-veut-exporter-son-petrole-noc-miliciens-fajr-libya-pr/, consulté le 12 mai 2015.

[320]DORLHIAC Renaud. Les Balkans en quête d'un nouveau souffle : le Sud-Est européen au révélateur des enjeux énergétiques. In Hérodote – Revue de géographie et de géopolitique. Géopolitique de l'énergie

[321]GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. Crude Oil - Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production. Op. Cit. p.6.

[322]GRIP, Les États-Unis à contre-courant. p. 85.

[323]For National Security, Get Off Oil, scintific american, 20 octobre 2008, http://www.scientificamerican.com/article/is-oil-a-threat/, consulté le 01 mai 2015.

Il est possible qu'en cas de choc énergétique, les États-Unis agissent seuls, accompagnés éventuellement par une « *coalition of the willing* » comme ce fut le cas en 2003 lors de la guerre en Irak. Afin d'éviter cette éventualité de dissensions au niveau européen, une plus grande intégration politique et militaire européenne serait souhaitable.

15.5. Conflits et coopérations potentiels avec les pays producteurs et les pays importateurs

La carte suivante présente les différentiels, par pays, entre les importations et les exportations de pétrole. Les pays colorés en ton de vert sont importateurs. Plus le vert est foncé, plus leurs importations sont importantes. Les pays colorés en ton de magenta sont exportateurs. Plus la couleur est foncée, plus leurs exportations sont importantes. Dans le contexte énergétique, ces pays représentent les acteurs futurs de la géopolitique. Les pays occidentaux sont majoritairement importateurs. Parmi les pays émergents ou BRICS, la Chine et l'Inde sont clairement les plus dépendants. La consommation de ces deux pays est passée de 2000 à 2010 de 7 à 13 mb/j.[324] Ces deux pays risquent à l'avenir de bouleverser les centres de gravité énergétiques. Jusqu'ici, ceux-ci étaient situés en occident pour les importateurs et au Moyen-Orient pour les producteurs.

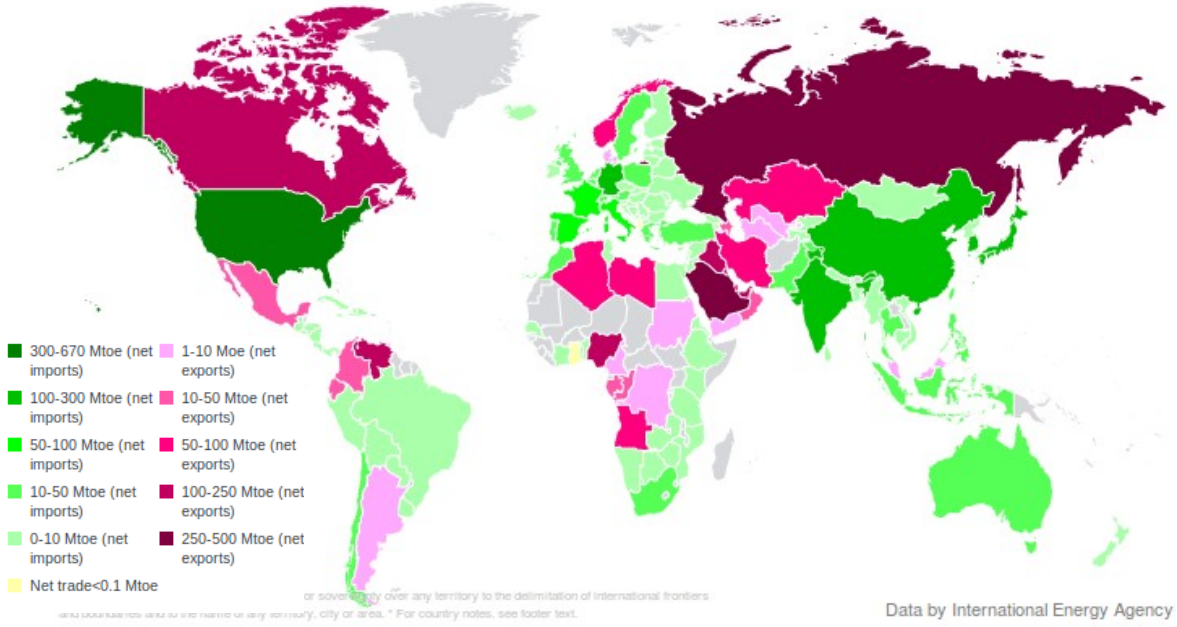


Figure 20: "Have" vs "Heavy Users". Source : AIE

Un tableau comparatif reprenant les plus grands producteurs, les plus grandes réserves et les plus grands consommateurs se trouve en annexe 5.

15.6. Infrastructures énergétiques critiques

Les infrastructures énergétiques critiques recouvrent les nombreuses installations liées au pétrole et au gaz telles que les terminaux gaziers et pétroliers, les voies d'acheminement tels que les gazoducs et oléoducs, les lieux de stockage. Comme nous l'avons vu, une partie importante de nos stocks stratégiques sont stockés à l'étranger. La protection des infrastructures énergétiques inclut donc également ces installations à l'étranger.

[324] Thévard Benoît, « Il reste 1000 ans de pétrole ! », http://www.avenir-sans-petrole.org/2014/12/il-reste-1000-ans-de-petrole.html, consulté le 3 mai 2015.

Le système de production et de distribution électrique fait également partie des installations énergétiques critiques. Outre les centrales thermiques, hydroélectriques et nucléaires, il est important d'inclure les lignes à haute tension et les installations y attenantes tels que les transformateurs.

Les réseaux informatiques sont utilisés à grande échelle par les différents acteurs de ce secteur. La protection de ces réseaux et des centres de stockage de données fait donc indirectement partie des infrastructures énergétiques critiques.[325]

[325]THE PRESIDENT'S COMMISSION ON CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION. Critical foundations protecting america's infrastructures.

16. Une défense résiliente

Il pourrait être dangereux pour la Défense de ne pas tenir compte des faits énoncés dans ce travail. Les forces armées américaines sont conscientes des défis énergétiques futurs. Elles sont à la pointe des initiatives visant à acquérir une plus grande autonomie énergétique. Chaque composante du DoD possède des programmes spécifiques pour atteindre cet objectif. Citons entre autre l'*USAF Energy Plan* de mars 2013[326], L'E*nergy Program for Security and Independence* d'octobre 2010 pour la Navy[327], l' *Army Net Zero - Energy Roadmap and Program Summary* de 2013[328] ainsi que « *Defense Sustainability: CONTENTS Energy Efficiency and the Battlefield ; Energy Trends and Their Implications for U.S. Army Installations* » de 2010[329] pour l'Army.

Pour de nombreuses raisons, de tels recommandations et objectifs ne peuvent être appliqués tels quels à la Défense. Citons d'évidentes raisons budgétaires et des raisons géographiques telles que l'ensoleillement et l'utilisation de sources photovoltaïques ou solaires thermiques, par exemple. Les lignes directrices de ces programmes sont cependant pertinentes et pourraient servir de fil conducteur à une armée moins énergivore. Les points suivants sont tirés de l'*Energy plan* de *l'USAF*. Ils sont basés sur quatre piliers :

- appliquer la résilience ;
- réduire la demande ;
- assurer l'approvisionnement ;
- favoriser la culture des économies d'énergie.

Ce qui suit se base également sur la publication du Major C. Leckie de l'Armée Australienne.[330]

16.1. La résilience – définition

Lewis & Conaty définissent 7 principes à adopter pour comprendre la résilience.[331] Bien que destinés à la résilience de communautés locales, ces principes peuvent être adaptés à la Défense et par extension à la société en général. Certains de ces principes sont déjà largement appliqués à la Défense. Il sont en effet pour la plupart inhérents à toute organisation militaire. Des adaptations seront cependant nécessaires et indispensables.

[326]USAF. Air Force Energy Plan 2010.
[327]US Navy. Energy Program for Security and Independence.
[328]US Army. Army Net Zero - Energy Roadmap and Program Summary.
[329]US Army. Defense Sustainability : Energy Efficiency and the Battlefield.
[330]LECKIE Cameron. Peak Oil and the Australian army. Australian Army Journal.
[331]Cités par HOPKINS Rob. Ils changent le monde ! p.50.

Ces principes sont les suivants :

- diversité : favoriser la diversité de personnes, de cultures, de modèles, de modes de pensée, etc. ;
- modularité : Il s'agit de mettre en place un maximum d'éléments capables de fonctionner parallèlement et conjointement avec d'autres parties du système, mais aussi indépendamment. Le but est ici d'éviter une interconnexion excessive entre les différents éléments ;
- capital social : une organisation basée sur la confiance, le leadership et la capacité de réagir aux défis. Pour reprendre le général Patton : « *If you tell people where to go, but not how to get there, you'll be amazed at the results.* » ;[332]
- innovation : valoriser l'expérimentation par l'apprentissage, l'exploration de nouvelles idées et solutions ainsi que l'adaptation ;
- chevauchement : ne pas agir de manière cloisonnée ou selon une structure trop centralisée ;
- boucles de rétroactions courtes : transmettre l'information entre les services et les unités afin de faire connaître à l'ensemble de l'organisation ce qui a été tenté ailleurs et qui fonctionne ;
- services écosystémiques : favoriser la responsabilité des acteurs, faire prendre conscience de leur activité et de leurs impacts sur l'ensemble de l'organisation et ne pas reporter d'éventuels problèmes sur d'autres services ou secteurs.

16.2. La résilience et la Défense

Les objectifs sont les suivants :

- identifier les vulnérabilités pour l'approvisionnement en général et les vulnérabilités énergétiques en particulier ;
- limiter les impacts de perturbation des chaînes logistiques (énergie et fournitures indispensables), assurer la pérennité des installations et permettre l'exécution des missions prioritaires.

Les vulnérabilités sont évidentes dans certains cas. Il s'agit en premier lieu des besoins énergétiques des véhicules et des bâtiments.

La vulnérabilité des chaînes logistiques est un autre point à prendre en compte. Notre approvisionnement dépend en effet quasi totalement de l'extérieur, que ce soit pour les pièces de rechange, la réparation de certains matériels ou de fournitures diverses. Cet approvisionnement est de plus, pour des raisons principalement économiques basé sur le principe des flux tendus. Peu de stock existent. Il importe donc d'être conscient qu'en cas de choc, une part non négligeable de cet approvisionnement pourrait venir à manquer. Il est indispensable d'identifier ces éventuelles ruptures d'approvisionnement et de constituer un stock des fournitures les plus vitales et cela au plus près des utilisateurs.

Une solution pourrait être à l'avenir de simplifier les appareils et d'améliorer encore plus leur modularité afin de faciliter leur réparation.

La résilience passe également par le fait de savoir utiliser les véhicules et les appareils divers en mode « dégradé » ainsi que d'être capable de s'adapter à un manque de pièces de rechange. Les nouveaux véhicules de la composante terrestre contiennent énormément d'électronique. En cas de rupture d'approvisionnement, il est possible qu'une partie de cet équipement électronique soit inutilisable et ne puisse être remplacé. Il est donc impératif que les unités soient entraînées en conséquence.

[332]http://www.brainyquote.com/quotes/authors/g/george_s_patton.html, consulté le 24 avril 2015.

16.3. Réduire la demande

L'objectif est d'améliorer l'efficacité énergétique et opérationnelle ainsi que l'efficacité des systèmes et des processus sans perdre les capacités indispensables aux missions.

L'énergie du futur est celle que l'on n'utilisera pas. La Défense est un des principaux consommateurs de carburant au niveau fédéral.

Une part importante de cette consommation est allouée aux entraînements divers, que ce soit pour les équipages de véhicules, les pilotes d'avions de chasse ou d'hélicoptère. Cet entraînement est indispensable pour garder un bon niveau de compétence. Cependant, l'utilisation, dans certaines limites de simulateur pourrait permettre d'effectuer de substantielles économies. Ce type de simulateur existe déjà à la force aérienne pour la formation et l'entraînement des pilotes et, pour cette composante, il est difficile d'encore diminuer les heures de vol, les simulateurs possédant leurs limites.

Au niveau de la composante terrestre, la mise au point et l'utilisation de simulateurs de type SAT appliqués aux véhicules blindés pourrait être une voie intéressante dans les économies de carburant. De tels simulateurs sont déjà utilisés par d'autres armées[333] et pourraient permettre d'assurer en partie la formation et l'entraînement des équipages, des chefs de peloton et probablement même des commandants d'escadron ou de compagnie. En effet, les nouveaux véhicules comme l'AIV disposant du *Battle Management System,* il serait possible d'imaginer un logiciel informatique adapté permettant de mettre en réseau les interfaces de chaque véhicule.

La conscientisation et l'implication du personnel auraient pour effet de permettre d'identifier des méthodes possibles d'économie. Les personnes de terrain sont souvent les mieux placées pour trouver des solutions souvent peu coûteuses mais qui peuvent à terme amener à de substantielles économies en modifiant les procédures existantes ou en en appliquant de nouvelles. Un autre impact de cette conscientisation serait de réduire les « petits » gaspillages tels que l'utilisation de générateur électrique lorsque ce n'est pas absolument nécessaire ou le fait de couper le moteur d'un véhicule lorsque la situation le permet.

Un effort particulier pourrait être fourni en ce qui concerne l'allègement des véhicules en ce qui concerne le blindage, par exemple. Les véhicules blindés sont en effet parfois transportés par avion lorsque le transport par voie maritime n'est pas permis ou pour effectuer les derniers kilomètres pour arriver sur la zone d'opération. La protection des équipages est à juste titre une priorité. Celui-ci peut être assuré par un blindage modulaire qui, en fonction de la mission est utilisé ou non. Ce blindage modulaire aurait aussi comme avantage que lorsqu'un véhicule est non réparable sur le terrain et doit être évacué, le kit de blindage modulaire peut rester sur place et être adapté au nouveau véhicule. La recherche de blindages plus légers déjà existant est une possibilité à envisager.

16.4. Assurer l'approvisionnement

Les objectifs sont les suivants :

- diversifier les sources d'énergie ;
- intégrer les différentes plates-formes permettant une compatibilité avec des sources alternatives d'énergie ;
- améliorer l'accès à des approvisionnements en énergie fiables.

[333] http://www.army.mil/article/12638/2_9_Tankers_thunder_through_training/, consulté le 05 mai 2015.

Actuellement, une grande partie de ce qui est utilisé sur les théâtres d'opérations doit être transporté depuis la Belgique ou depuis des pays alliés, utilisant donc du carburant. Ce qui ne provient pas de la chaîne logistique est acheté et fourni par des fournisseurs locaux. Il en est ainsi des carburants ou de l'eau. Une politique efficace d'économie de ces fournitures aurait de nombreux impact tactiques, financiers et sur la sécurité des troupes déployées. Des statistiques américaines ont montré que lors des combats en Afghanistan et en Irak, près d'un convois sur 24 se solda par une perte de vie humaine.[334] Ces attaques auraient causé, entre 2003 et 2007, la mort de plus de 3000 militaires.[335] Une réduction de cette logistique permettrait donc de limiter les pertes.

D'un point de vue tactique, une plus grande autonomie autorise une plus grande liberté d'action en limitant également les besoins logistiques. Un exemple parmi tant d'autres est le fonctionnement perpétuel de générateurs électriques lors de missions. Ces dernières années, la Défense a été déployée dans de nombreux pays et la majorité d'entre eux (Afghanistan, Mali, Liban, Congo, Jordanie, ...) se trouvaient dans des endroits favorables à l'utilisation de panneaux photovoltaïques. Cette solution permettrait d'effectuer des économies de carburant liées à l'approvisionnement.

Bien que de nombreuses améliorations doivent encore êtres appliquées, cette technologie, adaptée au milieu spécifiquement militaire est possible, comme en témoignent divers essais effectués par l'USDoD. Cette solution implique cependant de repenser une grande partie de l'équipement tel que le matériel de transmission, le matériel électronique divers, etc. afin de diminuer la consommation de ceux-ci.

Il est également important de lier cette technologie à des systèmes de stockage performants afin de pourvoir à l'alimentation électrique de nuit. Cette implémentation doit donc se faire dans le long terme et, dans l'idéal, en coopération avec les forces armées étrangères. L'instauration, au sein de l'OTAN de nombreux standards augmentent les possibilités.

D'autres sources alternatives pourraient être imaginées, mais posent actuellement problème. Il en est ainsi de l'utilisation d'éoliennes, fort vulnérables et visibles de loin pour les modèles les plus courants, de piles à hydrogène pouvant causer des problèmes de sécurité de par leur propriété et impliquant de repenser et d'adapter la chaîne logistique.

Les éoliennes sur mât sont vulnérables et visibles de loin en cas d'utilisation tactique. De plus petits modèles adaptables sur les toits commencent à faire leur apparition sur le marché civil et leur utilisation à long terme pourrait probablement être possible dans le milieu militaire.

Une piste intéressante peut être la « fusion froide » tel que l'E-Cat.[336] Bien que le principe de fonctionnement soit peu ou pas compris par le milieu scientifique, cette technologie pourrait à l'avenir représenter une alternative viable pour la production de chaleur pouvant être utilisée de diverses manières. De nombreuses recherches doivent cependant encore être menées.

L'eau est également un élément important. L'eau est indispensable aux missions, que ce soit pour l'alimentation, pour l'hygiène ou éventuellement pour le chauffage. Il serait envisageable de recycler l'eau utilisée pour l'hygiène en la traitant et en la recyclant. L'avantage principal serait encore une fois, d'éviter les transports coûteux en énergie.

---

[334] http://www.army-technology.com/features/feature77200/feature77200-2.html, consulté le 04 mai 2015.
[335] http://www.army-technology.com/features/feature77200/feature77200-3.html, consulté le 04 mai 2015.
[336] LEVI Giuseppe & Al. Indication of anomalous heat energy production in a reactor device. 31p. http://arxiv.org/pdf/1305.3913.pdf

Un autre avantage serait de ne pas prendre une partie de l'approvisionnement des populations locales et d'ainsi contribuer à gagner « les cœurs et les esprits » en évitant les gaspillages.

Les solutions existent dans le civil. Comme mentionné plus haut, les missions de ces dernières années se sont majoritairement déroulées dans des pays chauds. Ce climat permet donc de capter la chaleur provenant du soleil bien plus efficacement qu'en Belgique et cette chaleur pourrait être utilisée entre autres dans des systèmes de purification. Dans les milieux subissant une importante amplitude thermique tels que l'Afghanistan, des panneaux solaires thermiques pourraient être utilisés comme appoint pour le chauffage des installations lors des périodes froides.

En ce qui concerne les installations de la Défense en Belgique, les systèmes tels que les éoliennes et le solaire photovoltaïque pourraient être utilisés pour la production électrique. Ces systèmes ne peuvent cependant, de par leur intermittence intrinsèque, se substituer totalement aux systèmes de production électrique plus conventionnels. Ici aussi, des solutions existent cependant.

En ce qui concerne par exemple les installations attenantes à des terrains d'exercice ou à des zones naturelles telles qu'Arlon, Bourg-Léopold, Marche-en-Famenne, Florennes ou Elsenborn, l'utilisation de biomasse[337] pourrait être envisagée. Cette biomasse pourrait être utilisée pour rendre ces installations totalement autonomes, fournissant électricité et chaleur via, par exemple, des unités de cogénération. La valorisation des déchets organiques via leur méthanisation aurait les mêmes utilisations que la biomasse. Ces sources sont entre autres utilisées dans la commune de Beckerich au Luxembourg pour atteindre l'autonomie énergétique.

L'isolation efficace des bâtiments est également un point important et primordial dans la recherche de la plus grande efficience énergétique.

Les véhicules constituent à l'heure actuelle le maillon faible d'une armée résiliente. Il n'existe en effet aucune alternative au moteur thermique pour les véhicules lourds et donc pour les véhicules de combat. L'armée américaine, dans ses projets, n'envisage d'ailleurs pas la possibilité de se passer de moteurs thermiques à court ou à moyen terme. Les indispensables économies ne pourront donc se faire que via une utilisation moins énergivore. Le passage vers des carburants alternatifs est une autre possibilité.

L'utilisation de carburants alternatifs doit cependant être étudiée dans son ensemble. Les agrocarburants, par exemple peuvent constituer une option intéressante. Cependant, leur production nécessite une importante chaîne logistique. Que ce soit pour leur culture, leurs traitements, leurs amendements ou leurs transformations, ces agrocarburants requièrent également l'utilisation d'autres carburants, d'importantes quantité d'énergie et le recours à l'agrochimie issue principalement du pétrole. Il importe donc de pouvoir évaluer les coûts futurs de tels systèmes. Une production locale à grande échelle semble exclue, vu la grande densité de population de notre pays et le manque de surfaces agricoles disponibles.

Une autre source potentielle est la fabrication de biocarburants par l'utilisation d'algues. Des sites de productions existent déjà, mais ici aussi, des recherches plus poussées doivent encore êtres menées.[338]

[337]Utilisant des matières premières renouvelables d'origine végétale comme le bois.

[338]http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/index.php/Espace-Decouverte/Les-grands-debats/Quel-avenir-pour-les-biocarburants/La-fabrication-des-biocarburants-3-generations/La-production-de-biodiesel-a-partir-d-algues

L'électricité est une source d'énergie possible pour certains types de véhicule. Les véhicules commerciaux, par exemple. Il est cependant exclu de l'utiliser pour des véhicules lourds du type AIV ou Dingo. L'autonomie étant actuellement le facteur limitant. Il n'existe aucune source d'énergie possédant une densité énergétique équivalente aux hydrocarbures liquides, 1 kilo de pétrole contenant, pour les technologies actuelles, autant d'énergie que 100 kilos de batteries.[339] L'éventuelle utilisation d'électricité implique de plus, pour une Défense autonome, de produire cette électricité.

La propulsion par hydrogène pourrait être utilisée pour des véhicules lourds. Il existe cependant deux écueils majeurs. Le premier est que cette utilisation est difficilement compatible avec des véhicules de combat, l'hydrogène étant le plus inflammable des éléments connus.[340] Un autre écueil, en cas d'utilisation pour des véhicules commerciaux serait les coûts liés au remplacement ou à l'implémentation d'un système de distribution adéquat.

Le gaz naturel constitue une autre possibilité, mais ses inconvénients pour le milieu militaire sont les mêmes que pour l'hydrogène. Ce gaz possède cependant un avantage de taille : il peut être produit par une installation utilisant la biomasse.

À l'heure où se pose la question du remplacement des F-16, le point le plus problématique est l'utilisation de carburants alternatifs pour les aéronefs. Les possibilités sont basées sur le gaz, le charbon et la biomasse et utilisent le procédé Fischer-Tropsch qui fut perfectionné et exploité par le régime nazi pour pallier au manque de pétrole.[341] Ce procédé est très performant mais nécessite de lourds investissements. Une autre alternative prometteuse est l'utilisation de *Hydrotreated Renewable Jet* (HRJ). Ce carburant a déjà été testé avec succès par la *Navy Flight Demonstration Squadron.*[342] La production de ce carburant est basé sur de la biomasse fournie par deux plantes de la famille du colza.[343] Le problème vient ici des limitations liées aux agrocarburants citées plus avant. Les recherches se poursuivent pour une utilisation à grande échelle. Les défauts inhérents aux agrocarburants sont donc également d'application dans ce cas. Il importe d'effectuer des recherches plus poussées pour confirmer la viabilité économique de cette solution dans un contexte post-pic pétrolier.

Concernant les solutions évoquées ci-dessus, des études poussées devront être effectuées. Il faut être conscient que les investissements seront lourds, mais seules ces solutions permettront à long terme à la Défense de continuer ses missions.

L'accès à des énergies fiables ne dépend, pour des raisons budgétaires, que peu de la Défense. Ce ministère dépend principalement de la politique énergétique fédérale. La Défense peut cependant servir de catalyseur pour une politique énergétique orientée vers plus d'autonomie et une utilisation plus rationnelle de l'énergie. Il importe donc, pour les achats futurs de matériel et l'amélioration des infrastructures, de tenir compte de ces facteurs.

---

[339]MEILHAN Nicolas, Comprendre ce qui cloche avec l'énergie (et la croissance économique) en 5 minutes, avril 2015. [Présentation Powerpoint].

[340] //www.lenntech.fr/periodique/elements/h.htm, consulté le 05 mai 2015.

[341]Qantas Airways Ltd, Australian feedstock and production capacity to produce sustainable aviation fuel.

[342]http://news.blogs.cnn.com/2011/09/03/blue-angels-to-fly-on-biofuels/?hpt=hp_t2

[343]Agriculture Council of Saskatchewan. Economic Evaluation of Drop-In Hydrotreated Renewable Jet (HRJ) Fuel Production.

16.5. Favoriser la culture des économies d'énergies

Les objectifs sont les suivants :

- intégrer les efforts de communication à l'aide de formation et d'éducation pour accroître la sensibilisation des impacts de l'utilisation de l'énergie sur les missions ;
- vérifier que les processus reflètent l'énergie comme un catalyseur de la mission.

Au niveau du personnel, il est indispensable que celui-ci soit sensibilisé à tous les échelons.

Les efforts de communication doivent, à l'aide de formations et d'éducation, viser à accroître la sensibilisation aux impacts énergétiques liés aux différentes mission. La Défense dispose en son sein d'une cellule d'éco-conseillers qui peuvent contribuer à cette sensibilisation. Il est en effet important que chacun prenne conscience de l'impact que peuvent avoir les comportements individuels dans les économies d'énergie. De plus, un personnel sensibilisé peut contribuer efficacement aux économies en permettant de trouver des solutions locales et de nouvelles procédures moins énergivores. L'impact de cette sensibilisation serait démultiplié lors de missions et d'opérations extérieures, chacun comprenant pourquoi il est indispensable d'économiser l'énergie, ce qui permettrait ainsi de réduire sensiblement les coûteuses opérations logistiques.

La Défense est de longue date impliquée dans des initiatives de mobilité. La conséquence principale du pic pétrolier étant une hausse des coûts liés au transport, il est possible que suite aux différentes restructurations, du personnel habitant loin de son lieu de travail éprouve des difficultés financières pour ses trajets. Quelques solutions peu coûteuses peuvent ici être mises en place. La création d'une plate-forme de covoiturage, éventuellement ouverte à d'autres SPF, permettrait à chacun de réduire ses frais. Une autre possibilité serait d'instaurer un système permettant aux membres de la Défense le souhaitant d'échanger leur lieu de travail afin de raccourcir leurs trajets quotidiens. Pour certaines unités, il pourrait également, lorsque cela est compatible avec l'opérationnalité, être envisagé le fonctionnement en shifts. Le personnel pourrait ainsi réduire sensiblement sa consommation liée aux trajets professionnels. Le télétravail offre également de nombreuses possibilités, lorsque ce n'est pas en contradiction avec des contraintes de sécurité.

16.6. Création d'une « cellule pic pétrolier »

Il apparaît que les États-Unis, dont entre autres les différentes composantes de l'USDoD, se préoccupent énormément des conséquences du pic de pétrole. Il existe en effet de nombreuses publications officielles traitant de cette problématique. Suite à la rédaction de ce travail, il semble que cette préoccupation remonte aux environs de 2005, date qui correspond à la sortie du « Rapport Hirsch ».La plupart des publications sont en effet postérieures à cette date.[344]

Il pourrait être dangereux pour la Défense de perdurer dans le doute ou dans l'ignorance de la problématique évoquée dans ce mémoire. La création d'une cellule « Pic Pétrolier » semble à cet égard indispensable. Au niveau fédéral, il n'existe pas, officiellement du moins, une telle structure.

Afin d'implémenter les différentes stratégies à adopter, il semble essentiel de créer un groupe de recherche au sein de la Défense. Ce groupe, composé de membres de différents ACOS et DG de la Défense, serait responsable de la coordination et la planification des mesures à prendre. Une coordination de tous les secteurs est en effet indispensable pour

[344]Il s'agit ici d'une interprétation personnelle.

trouver les solutions les plus appropriées, un pétrole cher ayant des conséquences pour tous les services, unités et missions futures.

La Belgique ne peut faire face seule à ces défis. Ses capacités, ses moyens, l'absence d'industrie de défense conséquente impliquent la coopération et les synergies avec d'autres pays européens. Au vu des différents documents consultés, il semble que la Grande-Bretagne et l'Allemagne soient les deux nations les plus au fait au niveau européen.

Cette cellule aurait également pour tâche d'analyser les implications et les tendances futures tant au niveau national qu'au niveau international. Dans ce cadre, une analyse plus approfondie du travail de Sarah Odland semble pertinente. Dans le chapitre quatre de son travail intitulé « *Transition to a reduced petroleum economy : defining the game* », elle établit cinq scénarios possibles sur la forme prise par le pic pétrolier en fonction des différents stades de préparation.[345] Chaque scénario possède des caractéristiques propres dont chacune possède une issue propre. Une autre piste intéressante pour étudier le futur de la géopolitique de l'énergie semble être la comparaison entre les différents acteurs mondiaux selon qu'ils possèdent ou non du pétrole et leur consommation.[346]

La Défense possède une indéniable expertise en ce qui concerne la planification et la gestion de crise. Cette cellule pourrait donc épauler et guider les responsables politiques dans la prise de certaines décisions en cas de situation de choc.

16.7. Missions futures possibles

Depuis la Première Guerre mondiale et la mécanisation des armées, le pétrole est au centre de la géopolitique internationale et il est peu probable que cela change dans le futur.

L'accès aux ressources naturelles, le pétrole mais également les minéraux stratégiques, sera à l'avenir de plus en plus convoité. Les futures missions pourraient être de sécuriser l'accès à ces ressources ainsi que les SLOC's. Pour ce faire, la Défense dispose de plusieurs options. Des action unilatérales étant inenvisageables et en l'absence de structure et de politique commune de l'Union Européenne, ces opérations se feront dans un cadre multinational. Les partenaires étant ceux qui auront des intérêts identiques ou à tout le moins proches des nôtres. Ces missions pourraient à l'avenir être plus « offensives » que les missions effectuées ces dernières années.

Une autre possibilité tient dans les missions d'assistance à l'étranger permettant à la Défense d'assurer ses objectifs sans interventions conséquentes et sans engagement important. Il peut s'agir de l'envoi de cadres destinés soit à épauler les troupes locales comme ce fut le cas pour les OMLT en Afghanistan, soit à former des unités comme ce fut le cas au Congo.

Le scénario de l'effondrement est possible. Dans ce cadre, la Défense pourrait être impliquée dans des missions visant à assurer ou renforcer la sécurité intérieure. Dans cette analyse, les scénarios extrêmes seront délibérément évités.

[345]Voir annexe 6.
[346]Voir annexe 5.

Ces missions pourraient prendre différentes formes qui sont assez proches de ce que nos forces armées ont fait à l'étranger ces dernières années. Le cadre est relativement large : appui logistique aux forces de police ainsi qu'aux différents SPF, détachement de troupes en cas de mouvements sociaux importants, garde de points sensibles tels que dépôts de carburants ou de nourriture, centres logistiques, etc., assurer la sécurité de certaines zones vitales telles que des ports ou représentant un danger comme les centrales nucléaires ou certains sites Seveso.

Il apparaît que, en cas d'effondrement, l'intervention de l'armée engendre parfois plus de violences qu'en cas de non-intervention. Ce fut par exemple le cas au États-Unis suite au passage de l'ouragan Katrina à la Nouvelle-Orléans.[347] L'expérience acquise par nos unités ces dernières années durant les missions extérieures constitue donc un avantage certain pour éviter ce genre de situation.

Le déroulement d'un scénario d'effondrement est, nous l'avons vu, impossible à prévoir. C'est pourquoi il est difficile d'en donner une description plus précise et, partant, d'expliciter plus avant les missions possibles dans cette situation. Cela pourrait être une des tâches assignées à la cellule « pic pétrolier » dont il est question dans la section précédente.

[347]SERVIGNE Pablo & STEVENS Raphaël. Résilience en temps de catastrophe.

Conclusions

Le pic pétrolier est inévitable. L'inconnue qui subsiste est le moment de son avènement. Cet épisode marquera un tournant majeur dans l'histoire de l'humanité. Les changements dans la société seront profonds et peut-être brusques. Notre civilisation n'est, en effet, pas adaptée à un pétrole cher et, malgré une apparente robustesse, est extrêmement vulnérable. Notre société va donc devoir affronter cette situation avec, dans le meilleur des cas, le peu de moyens déjà engagés et, dans le pire des cas, un total manque de préparation et un effet de surprise. Il importe donc pour la Défense d'en prendre conscience afin de pouvoir assurer au mieux ses missions futures, de s'adapter en conséquence, de se préparer aux *inconnues connues* et de limiter au maximum les *inconnues inconnues*.

Les scénarios envisagés dans ce travail sont généraux et se rapportent à la société. Pour assurer son avenir, le futur de la Défense devra consister en une « résilience militaire », à savoir un mix entre les technologies existantes et à venir, des économie d'énergie à grande échelle et les sept grands principes de la résilience. Bien que la société ne puisse, pour des raisons de temps et de coût, probablement plus se permettre une transition vers un développement durable, les forces armées peuvent et doivent faire exception. Les défis à relever sont immenses, le temps est compté et les budgets sont limités.

Afin de mettre en place ces différentes solutions de la manière la plus efficace possible, il serait opportun de créer, au sein de la Défense, une cellule « pic pétrolier » composée de membres de tous les DG et ACOS. Son objectif serait de coordonner les actions à prendre à court, moyen et long termes et d'approfondir certains sujets de recherche pour limiter les incertitudes concernant l'avenir. La palette des domaines concernés est vaste et une vision holistique des effets du pic pétrolier est indispensable.

A court terme, il s'agit tout d'abord de réduire drastiquement les consommations d'énergie partout où cela est possible. L'énergie du futur est celle qui ne sera pas consommée. Il faut pour cela tenir compte entre autres des concepts de ERoEI, d'effet rebond et d'exergie. Une prise de conscience généralisée des défis à venir est indispensable, faute de quoi, les décisions qui doivent être prises et appliquées seront peu ou pas comprises par les membres de la Défense. Cette prise de conscience doit concerner tous les échelons de toutes les composantes. La résilience nécessite la collaboration de tous et ne peut fonctionner uniquement sous la contrainte. Le concept de « pic pétrolier » doit être clairement assimilé par tous : ce n'est pas la fin du pétrole, mais la fin du pétrole peu cher. Une telle adhésion permettrait également de trouver plus aisément des solutions locales et d'améliorer les synergies entre services et unités.

Les solutions à moyen terme impliquent des décisions qui nécessitent des investissements conséquents mais indispensables et rentables dans le futur. Il s'agit par exemple d'assurer au maximum l'autonomie en énergie des installations militaires, que ce soit sur le territoire national ou lors d'opérations. Des solutions existent avec les technologies actuelles, cependant la recherche de nouvelles pistes doit être une priorité. Leur mise en œuvre doit cependant être mûrement réfléchie quant à leurs implications sur le long voire très long terme.

En ce qui concerne le long voire très long terme, il importe, lors des décisions inhérentes à l'achat de matériels ou de travaux d'infrastructure, de tenir compte du fait que certains matériels pourraient à l'avenir être inutilisables de par le coût élevé de leur utilisation. La rupture de certaines chaînes logistiques pourrait également, de par le manque de pièces de rechange nécessaires à leur emploi, empêcher l'utilisation de certains matériels. Il faudrait, lorsque cela est possible, limiter une trop grande dépendance vis-à vis de l'extérieur.

La problématique de l'énergie est commune à toutes les armées. Les solutions retenues devraient donc, dans l'absolu, être appliquées en collaboration avec d'autres armées étrangères. L'utilisation de matériels standardisés est une des pistes à suivre. Les standards OTAN constituent une bonne base mais doivent être étendus. Les Britanniques et les Allemands semblent être ceux qui, à l'heure actuelle, sont les plus conscients de la situation. Les conséquences du pic pétrolier ne connaîtront pas de frontières.

En ce qui concerne les changements géopolitiques futurs, ils devront être étudiés sous l'angle de la dépendance aux énergies et de la possession ou non de sources d'approvisionnement. Dans un cadre plus large, cette étude ne devrait pas se limiter aux énergies, mais également aux ressources stratégiques pour les États tels que métaux et minéraux indispensables pour limiter la dépendance aux énergies fossiles.

Quoi qu'il en soit, il est important pour la Défense, de posséder, la flexibilité, la réactivité et l'ouverture d'esprit indispensables pour faire face aux défis futurs.

Annexes

1. Classement des hydrocarbures liquides[348]

1.1. Degré API

Le « degré API » (American Petroleum Institute) est un système de classification des différents types de pétrole. Cette classification est extrêmement importante de par les spécificités nécessaires au raffinage des différents types d'hydrocarbure. Plus la densité API est grande, moins l'hydrocarbure est visqueux.

La formule pour déterminer le degré API est la suivante :

API = (141.5 / SG) – 131.5 où API est la Densité API et SG est la densité à 60°F.

Les pétroles les plus légers permettent de fournir quasiment directement des sous-produits de grande valeur tels que l'essence, le diesel, le naphta et sont les plus recherchés par les producteurs.

Les pétroles lourds, quant à eux, permettent d'obtenir plus de sous-produits tels que bitumes, fiouls résiduels qui sont vendus tels quels ou qui doivent être transformés en coupes plus légères par divers procédés. À l'inverse, les pétroles lourds donnent plus de sous-produits, tels que bitumes et fiouls résiduels, qu'il faut soit vendre tels quels à bas prix, soit convertir en coupes plus légères, notamment par hydrocraquage (ajout d'hydrogène).

On parle généralement de pétroles lourds lorsque le degré API est inférieur à 22. Le pétrole lourd ne coule pratiquement pas à température ambiante, ce qui n'est pas le cas des pétroles extra lourds de degré API inférieur à dix. Ce type de pétrole se trouve principalement en Amérique du Sud.

Un degré API compris entre 22 et 33 caractérise des pétroles moyens. Les pétroles du Moyen-Orient sont principalement de ce type.

Les pétroles légers ont un degré API supérieur à 33. Leur aspect tend vers celui du gazole. Il s'agit du type de pétrole des gisements sahariens.

1.2. Pétrole brut

Le pétrole brut est un mélange d'hydrocarbures qui existent à l'état liquide dans les gisements et qui restent liquides une fois extraits. Les bruts sont classés selon leur teneur en soufre et leur densité, qui est normalement exprimée en unités de densité API (American Petroleum Institute). Le brut peut être léger (>30°API), moyen (entre 20°API et 30°API) ou lourd (généralement <20°API).

1.3. Les condensats

Les condensats sont un mélange d'hydrocarbures de type C 5 (pentane) à C 8 (octane), très légers et volatils, typiquement entre 50 et 85°API, qui se condensent spontanément en sortie des puits suite à la décompression et au refroidissement des gaz (associés ou non associés). Au niveau de leur comptabilité, les condensats peuvent être inclus dans une catégorie propre. Cependant, les condensats provenant de gaz associés sont

[348]BROCORENS Patrick & Al. Rapport d'enquête publique du parlement wallon sur les liens entre l'économie et le pic pétrolier, et les implications pour la Wallonie. p. 40-43.

généralement combinés au flux de pétrole brut en sortie des puits. Ils seront donc souvent comptabilisés dans les statistiques de production du brut. Les condensats extraits de gaz naturel non associé sont généralement inclus dans les données de LGN (voir ci-dessous). Cependant, les pratiques comptables diffèrent d'un pays à l'autre. Laherrère indique que pour l'Energy Information Administration (EIA), les condensats sont classés avec le brut ; pour l'International Energy Agency (IEA), ils sont classés comme brut s'ils sont vendus avec le brut, et ils sont classés comme LGN s'ils sont vendus avec le gaz naturel. Et d'une année à l'autre, en fonction de la renégociation des contrats de vente, les condensats peuvent changer de catégorie, et ainsi perturber les chiffres de production de brut et de LGN.

1.4. Les liquides de gaz naturel ou LGN

Les liquides de gaz naturel, ou LGN, désignent la fraction hors méthane du gaz naturel, c-à-d. des hydrocarbures légers qui sont liquides à température et pression normales ou qui peuvent facilement l'être à pression modérée, comme l'éthane, le propane, et le butane. Les LGN sont récupérés dans des usines de traitement du gaz naturel. Les LGN comprennent parfois aussi les condensats de gaz naturel non associé. L'EIA et l'IEA fournissent des données de production de LGN, avec des chiffres qui diffèrent par la comptabilisation des condensats (voir ci-dessus). De nombreuses sources ne séparent pas les LGN du pétrole brut dans les statistiques.

1.5. Le pétrole extra-lourd et les sables bitumineux

Le pétrole extra-lourd et les sables bitumineux (ou sables asphaltiques) résultent de la dégradation progressive d'un pétrole brut, qui a perdu ses fractions les plus volatiles et a été altéré par oxydation bactérienne et biodégradation. Il s'agit d'un pétrole <10° API, bien que cette définition ne soit pas non plus universelle. L'eau ayant une densité API de 10°, ces pétroles sont plus lourds que l'eau ; le piégeage conventionnel du brut au-dessus d'un plan d'eau disparaît. Étant très visqueux, l'extra-lourd et les bitumes situés en profondeur sont généralement produits par injection de vapeur, un procédé onéreux et énergivore. La plupart de la production actuelle provient du Canada et du Venezuela. Dans la ceinture de l'Orénoque au Venezuela, la température des réservoirs, de l'ordre de 50°C, permet à l'huile d'être suffisamment fluide que pour pouvoir être pompée. Situé à moins grande profondeur, l'extra-lourd canadien est plus froid, et donc beaucoup plus visqueux, d'où son appellation de bitume, une substance très visqueuse, voire solide, à température ambiante. La majorité de la production actuelle provient d'exploitations minières à ciel ouvert en Alberta, d'où est extrait un mélange de sables, d'eau, d'argile et de bitume. Après traitement, le bitume peut être mis directement sur le marché ou être converti en pétrole de synthèse, appelé syncrude. D'autres grandes accumulations d'extra-lourd se situent en Russie, en Chine, en Roumanie, au Nigeria et aux États-Unis.

1.6. Les schistes bitumineux

Alors que les sables bitumineux correspondent à un gisement de pétrole en fin de vie, les schistes bitumineux correspondent à un stade préliminaire à la naissance du pétrole. Il s'agit de roches sédimentaires à grain fin riches en un kérogène qui n'a atteint ni une température ni une pression suffisantes pour être transformé en pétrole. Les processus d'exploitation et de transformation des schistes bitumineux impliquent généralement de concasser la roche, et de la chauffer à haute température afin que le kérogène se décompose en gaz, liquides et résidus solides. Des processus in situ sont également développés, qui permettent de chauffer les roches sous terre.

1.7. Le tight oil (pétrole de réservoirs compacts)

Le tight oil (pétrole de réservoirs compacts) est un pétrole léger qui provient de formations géologiques de très faible perméabilité. Aujourd'hui, ces pétroles sont souvent classés séparément dans les statistiques, pour souligner la contribution du pétrole de roches-mères (shale oil en anglais, plus connu dans le grand public sous le nom de pétrole “de schiste” ou d’huile “de schiste”) qu’on inclut désormais dans cette catégorie. Pour un géologue, écrit Bauquis,[349] pétrole de réservoirs compacts et pétrole de roches-mères sont complètement différents. Le premier a migré vers une roche réservoir qui est redevenue très compacte du fait de sa cimentation progressive au cours des âges géologiques. Le second est resté prisonnier de sa roche-mère. Mais comme ces pétroles sont produits par les mêmes technologies, pour simplifier les statistiques, certaines bases de données mélangent les deux. Quant à la dénomination “schiste”, il s’agit d’une mauvaise traduction de l’anglais. En géologie, le mot “schiste” vise des roches métamorphiques, alors que les roches-mères ne sont pas des roches métamorphiques, mais des roches sédimentaires litées qui n'ont pas grand- chose à voir avec des schistes.

1.8. Les carburants xTL

Les carburants xTL, avec x pouvant être du charbon (Coal To Liquid,CTL), du gaz naturel (Gas To Liquid, GTL), de la biomasse (Biomass To Liquid, BTL), ou de l’hydrogène (Hydrogen To Liquid, HTL) sont des carburants de synthèse obtenus par des processus de conversion spécifiques. L’un des plus connus est le procédé Fischer-Tropsch, qui réduit le charbon, la biomasse ou le gaz naturel en un mélange de monoxyde de carbone et d’hydrogène, avant transformation en carburants liquides à l’aide de catalyseurs. Les HTL, carbonisation d’hydrogène obtenu à partir de sources non carbonées (par exemple, électrolyse de l’eau par électricité d’origine nucléaire ou éolienne) et de CO 2 est un concept proposé il y a près de dix ans par Bauquis. Notons que les xTL doivent plutôt être vus comme des vecteurs d’énergie que comme des sources d’énergie, puisqu’ils sont synthétisés à partir d’autres formes d’énergie.

1.9. Les biocarburants

Les biocarburants sont des carburants issus de la biomasse. Les biocarburants de première génération se composent de la filière alcool, principalement l’éthanol issu de la fermentation des sucres ou de l’amidon de certaines cultures agricoles, et de la filière huile, qui utilise directement les huiles végétales ou les modifie en biodiesel. Les biocarburants de deuxième génération visent à transformer la lignine et la cellulose (bois, paille) en carburants liquides (éthanol par exemple) par différents procédés. Le BTL fait partie des biocarburants de deuxième génération. Les carburants générés à partir d’algues sont dits de troisième génération.

1.10. Les gains de raffinage

Dans les statistiques pétrolières apparaît souvent une catégorie particulière, qui ne correspond pas à une nouvelle source d’énergie et qui est une conséquence de la comptabilisation du pétrole sous forme de volume (barils) et non de contenu énergétique (joule, calories, etc.). Il s’agit des gains de raffinage. Ils correspondent à l’augmentation de volume observé au raffinage, dû à la transformation du pétrole en produits de raffinage qui, en moyenne, ont une densité spécifique plus faible que le pétrole brut dont ils sont issus. Cela se fait notamment par hydrocraquage (ajout d’hydrogène, actuellement issus du gaz naturel), rendant une partie des gains de raffinage assimilable

[349]Pierre-René Bauquis, ancien conseiller du Président du groupe Total. http://www.pierrerenebauquis.com/

à du GTL. Insistons sur le fait que les gains de raffinage sont des gains de volume, lesquels ne correspondent pas à des gains d'énergie équivalents. En réalité, ils n'augmentent en rien la quantité d'énergie primaire dont on dispose. Ils sont en fait associés à une perte d'énergie, car la raffinerie consomme de l'énergie lors du raffinage.

2. Hydrocarbures : tableau récapitulatif[350]

Phase	Classification			Coût de production $2008/bep	Densité °API	EROEI	Principales réserves ou productions
Liquide	NGPL / Condensats			10 – 40	70 – 50	14,5	Arabie Saoudite, Russie
	Léger	Production classique	on shore	10 – 40	57 – 10	20	Arabie Saoudite, Russie
			off shore	10 – 40	57 – 10	10-20	USA, Brésil, Angola
		Production spécifique	tight oil	15 – 40	57 – 10	5-10	USA
			shale oil	15 – 40	57 – 10	5-10	USA
			profond	35 – 80	57 – 10	5-20	Brésil, USA
			ultra profond	35 – 80	57 – 10	5-20	Brésil, USA
			froid extrême	35 – 100	57 – 10	5-12	USA, Russie
			Enhanced Oil Rec.	20 – 80	57 – 10	5-15	/
	Lourd			35 – 75	15 – 10	5-15	Mexique
	extra lourd			35 – 75	<10°	1,5-5	Venezuela
Solide	extra lourd		Sables bitumineux	35 – 75	<10°	1,5-4	Canada
	Schistes bitumineux			50 – 115	<10°	1,3-2	Estonie
Synthétique	Coal To Liquid			60 – 115	NA	0,5-8,2	Afrique du Sud
	Gas To Liquid			38 – 115	NA	5-8,3	Qatar
	Biocarburants		Biomass To Liquid	60 – 100	NA	<1	/
			Biodiesel	60 – 145	NA	1,3-2	Europe, USA
			Ethanol	40 – 135	NA	0,7-10	Brésil, USA
Gazeux	Production classique		on shore	5 - 40	NA	10-15	Arabie Saoudite, Russie
			off shore	10 – 40	NA	10-15	USA, Brésil, Angola
	Production spécifique		Tight gas	15 – 40	NA	5-10	USA
			Shale gas	20 - 50	NA	5-10	USA
			Gaz de houille	20 - 50	NA	5-10	USA, Australie, Chine
			Hydrates de méthane	25- 50	NA	3	Japon, Inde, USA

	Contraintes raisonnables, exploitation potentiellement durable
	Contraintes trop importantes dans certains cas et acceptables dans d'autres
	Contraintes trop importantes présentant de forts risques, exploitation non durable et non généralisable

Les valeurs reportées dans ce tableau sont issues de sources multiples et non répertoriées dans l'étude en question.
Ce tableau n'a pas de valeur de référence mais d'indication pour le lecteur.

[350]THÉVARD Benoît. L'Europe face au pic pétrolier : rapport annexe 3. Classification des hydrocarbures. p.7

3. Classification des hydrocarbures selon l'EIA et l'AIE[351] (Source : P. Brocorens)

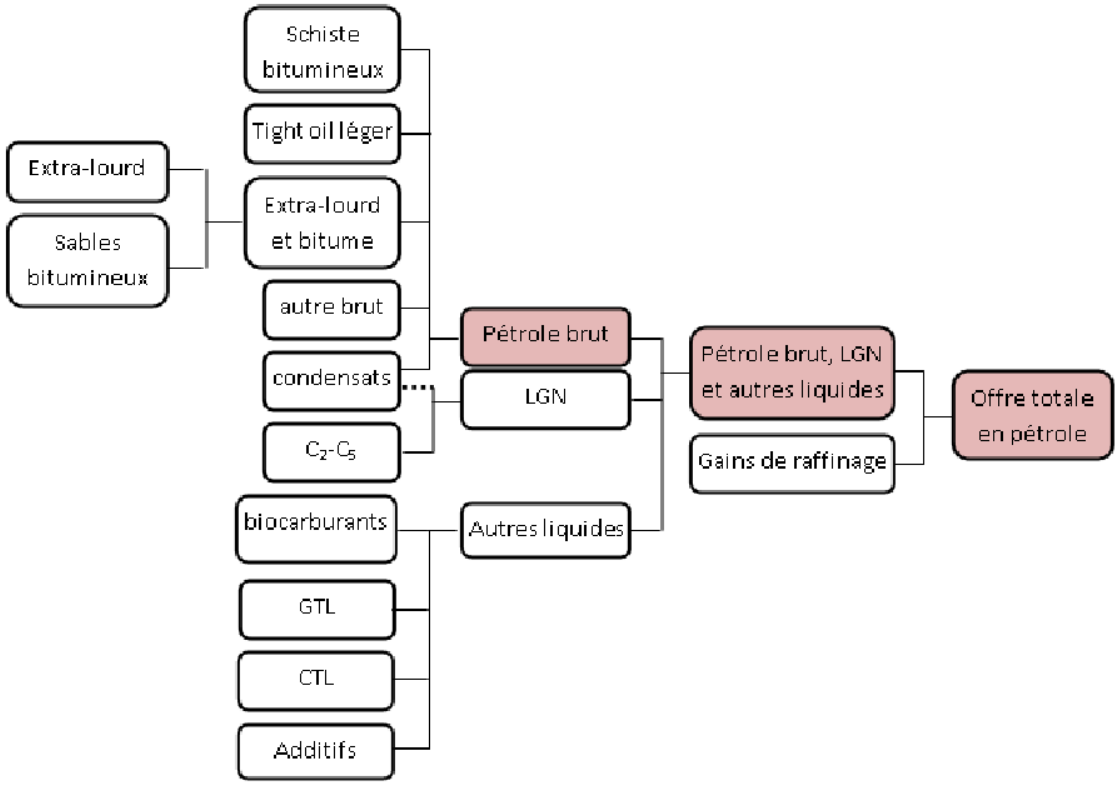


Figure 21: Classification des liquides selon l'U.S. Energy Information Agency (EIA)

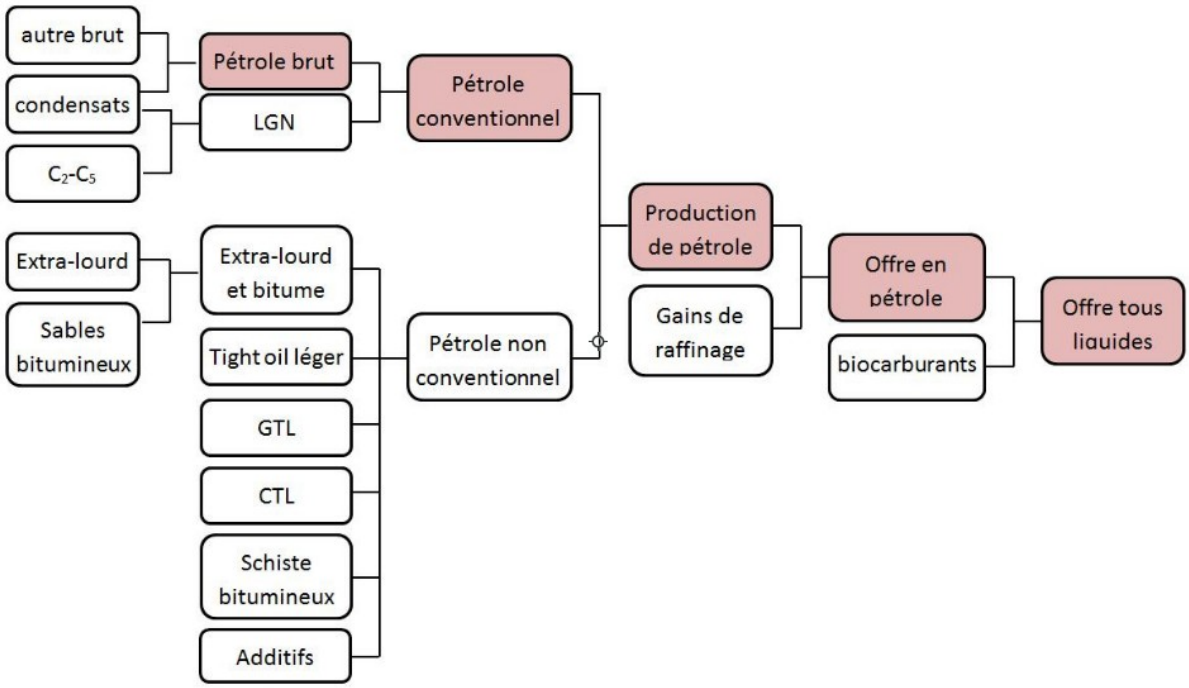


Figure 22: Classification des liquides selon l'Agence Internationale de l'énergie (IEA ou AIE)

[351]Source : Brocorens P.

4. Les 20 plus grands champs pétroliers et leur URR

Table 6.1: *The 20 largest oil fields in the world with respect to URR (GF).*

Field name	Country	Discovery year	Production start	Range of URR [Gb]
Ghawar	Saudi Arabia	1948	1951	66–150
Greater Burgan	Kuwait	1938	1945	32–75
Safaniya	Saudi Arabia	1951	1957	21–55
Rumaila North & South	Iraq	1953	1955	19–30
Bolivar Coastal	Venezuela	1917	1917	14–30
Samotlor	Russia	1961	1964	28
Kirkuk	Iraq	1927	1934	15–25
Berri	Saudi Arabia	1964	1967	10–25
Manifa	Saudi Arabia	1957	1964	11–23
Shaybah	Saudi Arabia	1968	1998	7–22
Zakum	Abu Dhabi	1964	1967	17–21
Cantarell	Mexico	1976	1979	11–20
Zuluf	Saudi Arabia	1965	1973	11–20
Abqaiq	Saudi Arabia	1941	1946	13–19
East Baghdad	Iraq	1979	1989	11–19
Daqing	China	1959	1962	13–18
Romashkino	Russia	1948	1949	17
Khurais	Saudi Arabia	1957	1963	13–19
Ahwaz	Iran	1958	1959	13–15
Gashsaran	Iran	1928	1939	12–14

Figure 23: The 20 largest Oil Fields in the world with respect to URR (2007) (Source : Fredrik Robelius. Giant Oil Fields – The Highway to Oil)

5. Les scénarios du rapport Meadows

Scénario 1 : Un point de repère.

Scénario 2 : Des ressources non-renouvelables plus abondantes.

Scénario 3 : Des ressources non-renouvelables plus accessibles et des techniques de contrôle de la pollution.

Scénario 4 : Des ressources non-renouvelables plus accessibles, des techniques de contrôle de la pollution et une amélioration des rendements agricoles.

Scénario 5 : Des ressources non-renouvelables plus accessibles, des techniques de contrôle de la pollution, une amélioration des rendements agricoles et une protection contre l'érosion des sols.

Scénario 6 : Des ressources non-renouvelables plus accessibles, des techniques de contrôle de la pollution, une amélioration des rendements agricoles, une protection contre l'érosion des sols et une technologie permettant l'utilisation efficiente des ressources.

Scénario 7 : La planète cherche à partir de 2002 à stabiliser sa population.

Scénario 8 : La planète cherche à partir de 2002 à stabiliser sa population et sa production industrielle par habitant.

Scénario 9 : La planète cherche à partir de 2002 à stabiliser sa population et sa production industrielle par habitant et ajoute des technologies relatives à la pollution, aux ressources et à l'agriculture.

Scénario 10 : Quand les politiques de durabilité du Scénario 9 sont introduites 20 ans plus tôt, soit en 1982.

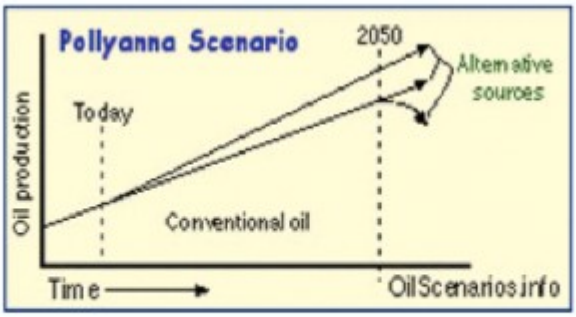
6. Pétrole : « The Heavy Users » & « The Haves »

« The Heavy users »			« The haves »			Total Oil supply	
United States	18887	1	Venezuela	298,3	1	Saudi Arabia	11525
China	10756	2	Saudi Arabia	265,9	2	Russian Fed.	10788
Japan	4551	3	Canada	174,3	3	United States	10003
India	3727	4	Iran	157,0	4	China	4180
Russia	3313	5	Iraq	150,0	5	Canada	3948
Saudi Arabia	3075	6	Kuwait	101,5	6	UAE	3646
Brazil	2973	7	UAE	97,8	7	Iran	3558
South Korea	2460	8	Russia	93,0	8	Iraq	3141
Canada	2385	9	Libya	48,5	9	Kuwait	3126
Germany	2382	10	United States	44,2	10	Mexico	2875
Mexico	2020	11	Nigeria	37,1	11	Venezuela	2623
Iran	2002	12	Kazakhstan	30,0	12	Nigeria	2322
France	1683	13	Qatar	25,1	13	Brazil	2114
Indonesia	1623	14	China	18,1	14	Qatar	1995
UK	1503	15	Brazil	15,6	15	Norway	1837
Italy	1308	16	Angola	12,7	16	Angola	1801
Singapore	1259	17	Algeria	12,2	17	Kazakhstan	1785
Thailand	1211	18	Mexico	11,1	18	Algeria	1575
Spain	1200	19	Norway	8,7	19	Colombia	1004
Australia	1026	20	Ecuador	8,2	20	Libye	988
Taïwan	977	22	Azerbaijan	7,0	22	Oman	942
kb/j			Gb barils			kb/j	

Tableau 1: Source : BP Statistical review of world energy - 2014 - workbook

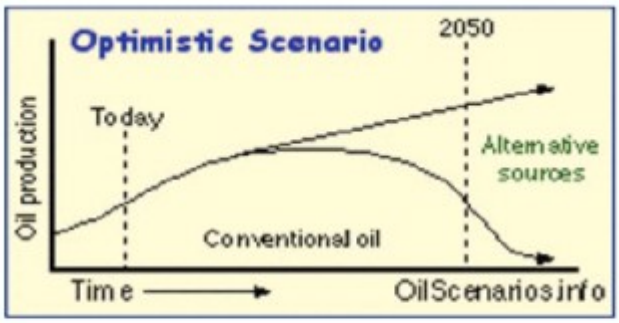
7. « Identifying the state of nature » par S. Odland[352]

7.1. Polyanna Scenario



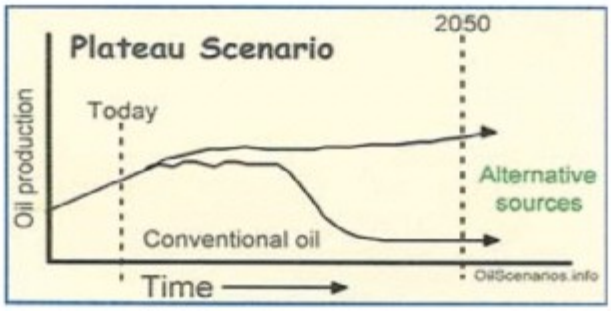
Oil production can be increased to meet all future demands for at least 40 years.

7.2. Optimistic Scenario



Oil production in combination with conservation and alternative resources can meet the growing demands of society for the foreseeable future.

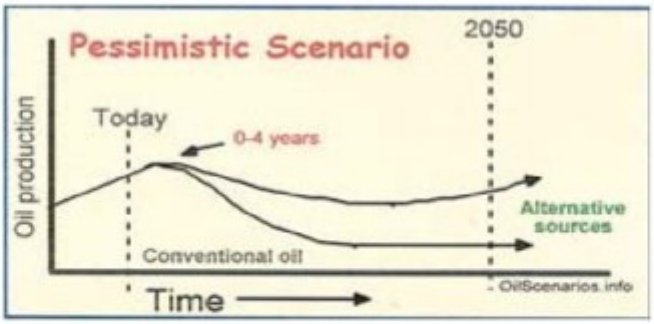
7.3. Plateau Scenario



Fossil fuel production will plateau in the next decade resulting in a volatile energy market and restricted world economy however people will be able to adapt lifestyles to the changing environment.

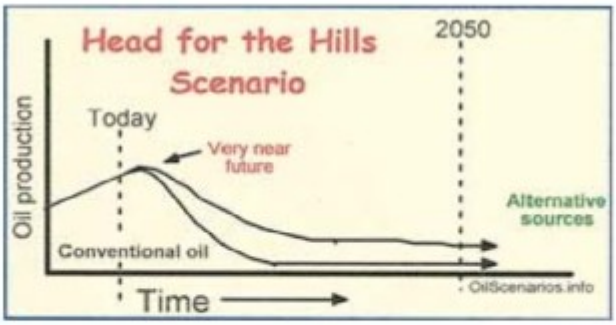
[352]Op. Cit., p.54.

7.4. Pessimistic Scenario



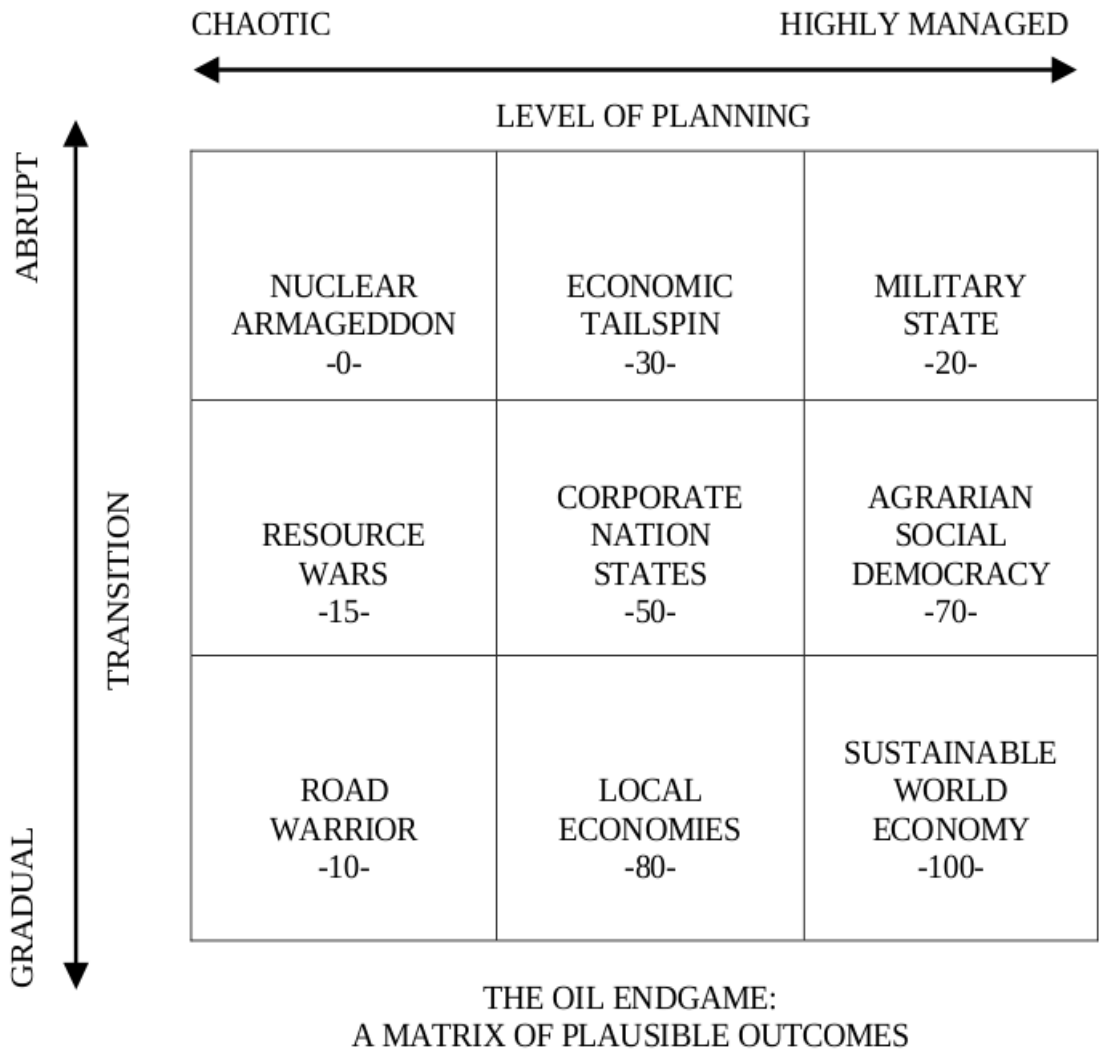
Oil production will not meet demand, forcing conservation and alternative energy use over the next decade however total energy resources will still decline slowly resulting in a gradually retracting world economy.

7.5. Head of the Hills



Oil production will peak and decline rapidly in the near future resulting in widespread energy shortages resulting in catastrophic collapse of many elements of modern society due to our lack of preparation.

8. « A matrix of plausible outcomes » par S. Odland[353].



Chaotic/Collapse Outcomes

- Nuclear Armageddon: Also known as "Last Man Standing" or "If I can't have it, you can't either", one of the have-not superpowers (e.g. U.S. or China) or a "rogue state" (e.g. Pakistan or Korea) exercises the nuclear option to prevent others from access to oil resources. This brings the game to an abrupt end.

- Resource Wars: Code-named "War that will not end in our lifetime"[354], increased competition for remaining petroleum supplies leads to a perpetual state of proxy wars, direct military intervention/occupation, and escalating terrorism until recoverable supplies are exhausted, or simply no longer worth fighting for.

- Road Warrior : As petroleum supplies become increasingly scarce, civil society breaks down into tribal units scrambling to stay alive and defend their hoarded resources from marauders.

Semi-Chaotic to Quasi-Managed Outcomes

[353]« Strategic choices for managing the transition from peak oil to a reduced petroleum economy », p.58.
[354]

- Economic Tailspin/Global Recession: The sudden and unforeseen onset of oil supply shortages undermines the economy, leading to price spikes, fuel delivery disruptions, reduced GDP, spiraling petroleum import deficits and a dollar crisis. Periods of inflation/hyperinflation alternate with recession/depression. A global recession ensues.

- Corporate Nation-States: Under this variation of Return to Feudalism, arable land and resource ownership ends up concentrated in a small group of elites or companies. Everyone else works for them as tenant farmers, indentured laborers, or soldiers, in return for income or basic necessities and protection.

- Local Economies/Community Solutions: Intentional communities develop around local agriculture, supporting local businesses and reaching decentralized agreements on resource usage and group governance. They concentrate on energy efficiencies and micropower to maintain a decent standard of living in a supportive social network. Interaction with the outside world is via telecommuting and mass transit.

Highly Managed Transition Outcomes

- Military State: Due to oil shocks and supply disruptions, the government declares a state of emergency, imposes rationing and curfews and severely restricts movement of the population. Military police (or contract security) quell periodic civil uprisings. Picture New Orleans in the aftermath of Hurricane Katrina, but without the flooding.

- Agrarian Social Democracy: A centralized planning decision directs a society-wide effort and national resources towards feeding the population. A significant portion of the population becomes farmers. Land ownership and farm operations are scaled to a low-energy, community level with significant participation of individuals in local decisions and governance (e.g., post-Soviet Cuba rather than the failed Soviet socialist model of huge collective, high- energy-input farms).

- Sustainable World Economy: A full-scale, international cooperative effort is implemented to dramatically reduce energy consumption, enhance technological efficiencies and develop renewable energy sources and alternatives. The mitigation actions are initiated early enough to prevent severe energy disruptions and hardship. The world population stabilizes at a high level of sustainable human welfare.

9. Conclusions du rapport Hirsch , Février 2005[355]

- World Oil Peaking is Going to Happen
- Oil Peaking Could Cost the U.S. Economy Dearly
- Oil Peaking Presents a Unique Challenge
- The Problem is Liquid Fuels
- Mitigation Efforts Will Require Substantial Time
- Both Supply and Demand Will Require Attention
- It Is a Matter of Risk Management
- Government Intervention Will be Required
- Economic Upheaval is Not Inevitable
- More Information is Needed

[355]Ces points sont explicités dans le rapport, p.88.

Bibliographie

- AARTS Paul, VAN DIJKE Pieter, KOLMAN Iris, STATEA Jort, DAHHAN Ghassan. From Resilience to Revolt Making Sense of the Arab Spring. University of Amsterdam , Department of Political Science . 2012. 126p. [PDF]. http://www.hivos.net/content/download/85755/767845/file/From_Resilience_to_Revolt.Making_Sense-of_the_Arab_Spring.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- Agriculture Council of Saskatchewan. Economic Evaluation of Drop-In Hydrotreated Renewable Jet (HRJ) Fuel Production. 6p. [PDF]. http://www.agwest.sk.ca/ckfinder/userfiles/files/Executive%20Summary%20-%20Economic%20Evaluation%20of%20Drop-In%20Hydrotreated%20Renewable%20Jet%20%28HRJ%29%20Fuel%20Production%20from%20Camelina%20sativa%20and%20Brassica%20carinata.pdf, consulté le 02 mai 2015.
- AMIDON John M. America's Strategic Imperative - A "Manhattan Project" for Energy. Joint Forces Quarterly n°39, 68-77, octobre 2005. [PDF]. https://hosting.umons.ac.be/php/aspo/public_html/ftp_aspo/Amidon_octobre_2005.pdf , consulté le 14 mai 2015.
- ARAUD Christian & SERVIGNE Pablo. La transition inachevée - Cuba et l'après-pétrole. Barricade. Octobre 2012. 12p. [PDF]. http://www.barricade.be/sites/default/files/publications/pdf/2012pablochristian-cuba.pdf, consulté le 23 avril 2015.
- ASPO, Pétrole, le début de la fin. 2007. [PDF]. http://portail.umons.ac.be/EN2/universite/facultes/fpms/applicasciences/Documents/RessourcesPedag/Petrole_web.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- AUZANNEAU Matthieu . Or noir : la grande histoire du pétrole. Paris, Édition La Découverte, 2015. 712p. ISBN 978-2-7071-6701-9
- BARDI Ugo. Le grand pillage – Comment nous épuisons les ressources de la planète. Paris, Les petits matins, 2015. 427p. ISBN 978-2-36383-165-1
- BEN HAMMOUDA Hakim, BERTHAUD Pierre, SANDRETTO René, SILEM Ahmed. Banquiers et économistes face à la crise. Bruxelles, De Boeck Université, 2010. 192p. ISBN 978-2-8041-6318-1
- BEN HAMMOUDA Hakim, OULMANE Nassim, SADNI JALLAB Mustapha. Crise… Naufrage des économistes ? - Enquête sur une discipline en plein questionnement. Bruxelles, De Boeck Université, 2010. 236p. ISBN 978-2-8041-6143-9
- BIHOUIX Philippe, de GUILLEBON Benoît. Quel futur pour les métaux – Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société. Les-Ulis, EDP Sciences, 2010. 299p. ISBN 978-2-7598-0549-5
- BIHOUIX Philippe. L'âge des low-tech – vers une civilisation techniquement soutenable. Paris, Éditions du seuil, 2014. 330p. Coll. Anthropocène. ISBN 978-2-02-116072-7
- BP, BP Statistical Review of World Energy, 63rd Edition. Juin 2014. [PDF]. http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- BP, Statistical Review 2014 - workbook, http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical-review-2014/BP-Statistical_Review_of_world_energy_2014_workbook.xlsx, consulté le 14 mai 2015.
- BROCORENS Patrick & Al. Rapport d'enquête publique du parlement wallon sur les liens entre l'économie et le pic pétrolier, et les implications pour la Wallonie. 2014.

- BROCORENS Patrick. Pic du Pétrole et Pic du Gaz. Février 2007. [PDF]. http://liege.mpoc.be/livres/-Energie/Brocorens-Patrick_PicDuPetroleEtDuGaz_2007_117pages-1500Ko.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- BROCORENS Patrick. Understanding the Decline of Global Oil Exports . 23p. [PDF]
- BUNDESWEHR TRANSFORMATION CENTER, Future Analysis Branch. Armed Forces and Technologies in the 21st Century, Environmental Dimensions of Security ; Sub-Study 1 : PEAK OIL : Security Policy implications of scarce ressources. Strausberg, 2010. 112p. [PDF]. http://www.energybulletin.net/sites/default/files/Peak%20Oil_Study%20EN.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- COCHET Yves. L'effondrement, catabolique ou catastrophique ? Institut Momentum, Séminaire du 27 mai 2011. [PDF]. http://www.institutmomentum.org/wp-content/uploads/2013/11/L%E2%80%99effondrement-catabolique-ou-catastrophique.pdf, consulté le 20 mars 2015.
- COPINSCHI Philippe. Le pétrole, quel avenir ? - Analyse géopolitique et économique. Bruxelles, De Boeck Université, 2010. 137p. ISBN 978-2-8041-1314-8
- CORNOT-GANDOLPHE Sylvie. La révolution des pétroles de schiste aux États-Unis. Note de l'IFRI, janvier 2015. [PDF]. http://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/revolution_petrole_schiste_scg_final couv.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- COURCELLE C., GUSBIN D. Perspectives énergétiques 2000-2020 : Scénarios exploratoires pour la Belgique . Bureau Fédéral du plan, janvier 2001. http://www.plan.be/admin/uploaded/200605091448066.PP088fr.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- CUSTERS Raf, Chasseurs de matières premières. Bruxelles, Gresea, 2013. 239p. ISBN 978-2-87003-642-6
- DE KIMPE. Bescherming Vitale Infrastructuur – Welke rol voor Defensie. Kabinet Defensie.
- DESGAIN Xavier & DARAS José. La Belgique survivra au pétrole. Étopia. Juin 2007. http://www.etopia.be/IMG/pdf/r2AC_Desgain01.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- DIAMOND Jared. De l'inégalité parmi les sociétés – Essai sur l'homme et l'environnement dans l'histoire. Paris, Gallimard, 2000. 695p. Coll. Folio essais, n°493. ISBN 978-2-034750-6
- DIAMOND Jared. Effondrement – Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie. Paris, Gallimard, 2006. 873p. Coll. Folio essais, n°513. ISBN 978-2-07-036430-5
- EIA, Annual energy outlook 2014 with projections to 2040. 2014. 154p. [PDF]. http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383%282015%29.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- EIA, Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States. June 2013. 730p. [PDF]. http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/fullreport.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- EIA, U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, 2013. Décembre 2014. 47p. [PDF]. http://www.eia.gov/naturalgas/crudeoilreserves/pdf/usreserves.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- EUROPEAN COMMISSION. Critical raw materials for the EU - Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. 2014. 84p. [PDF]. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- FAVENNEC Jean-Pierre, MATHIEU Yves. Atlas mondial des énergies. Paris, Armand Colin, 2014. 143p. ISBN 978-2-200-25754-5

- FAVENNEC Jean-Pierre. Le Raffinage du pétrole. Paris, Éditions Technip, 1998. Tome 5, Exploitation et gestion de la raffinerie, p.120. ISBN 2-7108-0742-4
- FONTAINE Pierre. La guerre froide du pétrole. Paris, Éditions "je sers", 1956. 121p.
- FOURCADE Marion, OLLION Etienne, ALGAN Yann. The Superiority of Economists. MaxPo Discussion Paper 14/3. Paris, Max Planck Sciences Po Center, 2014. 26p. ISSN 2197-3075
- GEORGESCU - ROEGEN Nicholas. La décroissance : Entropie, Écologie, Économie. Paris, Éditions Sang de la Terre, 2011. 297p. ISBN 978-2-86985-168-9
- GIANNESINI Jean-François, Mots Croisés, « Essence : le litre à 1,50€ », 13 novembre 2007. [émission télévisée]
- GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. Crude Oil - Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production. Février 2007. 76p. [PDF]. http://www.gao.gov/new.items/d07283.pdf, consulté le 01 mai 2015.
- GOYA Michel. L'invention de la guerre moderne : Du pantalon rouge au char d'assaut 1871-1918. Paris, Éditions Tallandier, 2014. 480p. Coll. Texto. ISBN 979-1021004603
- GRAS Alain. Le choix du feu : aux origines de la crise climatique. Paris, Fayard, 2007. 281p. ISBN 978-2-21-362531-7
- GREER John Michael. La fin de l'abondance – L'économie dans un monde post-pétrole. Montréal, Les Éditions Écosociétés, 2013. 235p. ISBN 978-2-89719-054-5
- Groupe de Recherche et d'Information sur la Paix. Les États-Unis à contre courant – Critique américaine à l'égard d'une politique étrangère unilatéraliste. Bruxelles, coédition GRIP – Éditions Complexe, 2004. 169p. ISBN 2- 87027-974-4
- HABRAN Olivier & LESCROART Ralph. Flux d'Energie Grise. 2006. [PDF]. http://www.fors-ing-henallux.be/medias/files/ing-flux-energie-grise.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- HALL Charles A. S., BALOGH Stephen & MURPHY David J. R. What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have ? Syracuse (NY), College of Environmental Science and Forestry, 2009. 23p. [PDF]. http://www.mdpi.com/1996-1073/2/1/25/pdf, consulté le 14 mai 2015.
- HALL Charles A.S & DAY John W. Revisiting the Limits to Growth After Peak Oil. AmericanScientist, vol.97, 230-236. Mai-juin 2009. [PDF]. http://www.esf.edu/efb/hall/2009-05Hall0327.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- HEINBERG Richard. Pétrole : la fête est finie. Paris, Éditions Demi-Lune, 2008. 380p. ISBN 978-2-917112-05-2
- Hérodote – Revue de géographie et de géopolitique. Géopolitique de l'énergie. Trimestriel n°155, 2014/4. Paris, Éditions La Découverte, 2014. 192p. ISBN : 978-2-707183-35-4
- HIRSCH Robert, BEZDEK Roger, WENDLING Robert. Peaking of world oil production : Impacts, mitigation, & risk management. Department of Energy. Nova Science Publishers, 2005. 91p. [PDF]. http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/oil_peaking_netl.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- HOMER-DIXON Thomas. Le défi de l'imagination – Comment résoudre les problèmes de l'avenir ? Montréal, Les Éditions du Boréal, 2002. 576p. ISBN 2-7646-0175-1
- HOPKINS Rob. Ils changent le monde ! Paris, Éditions du seuil, 2015. 301p. Coll. Anthropocène. ISBN 978-2-02-116327-8
- HOPKINS Rob. Manuel de transition : de la dépendance au pétrole à la résilience locale. Montréal, Les Éditions Écosociétés, 2010. 212p. ISBN 978-2-923165-66-0

- HSBC Climate Change, Energy in 2050 - Will fuel constraints thwart our growth projections? Mars 2011. 76p. [PDF]. http://www.hsbctrinkaus.de/tubweb/pressroom.nsf/0/8A1297C2B031737CC125786200590774/$File/hsbc_studie_energy_in_2050.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- IEA, Energy Supply Security 2014 – Part 2, 2014. 17p. [PDF]. https://www.iea.org/media/freepublications/security/EnergySupplySecurity2014_Belgium.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- IEA, World Energy Outlook 1998. 464p. [PDF]. http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2008-1994/weo1998.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- IEA, World Energy Outlook 2000. 444p. [PDF]. http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2008-1994/weo2000.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- IEA, World Energy Outlook 2008. 475p. [PDF]. http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2008-1994/weo2008.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- IEA. World Energy Outlook 2010 - Keygraphs. 10p. [PDF]. http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2010/key_graphs.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- IRIS, L'année stratégique 2015 – Analyse des enjeux internationaux, Paris, Édition Armand Colin, 2014. 544p. ISBN 978-2-200-29463-2
- JACKSON Tim. Prospérité sans croissance - La transition vers une économie durable. Bruxelles, De Boeck, 2010. 219p. Coll. Planète en jeu. ISBN 978-2-8041-3275-0
- JANCOVICI Jean-Marc. Transition énergétique pour tous – Ce que les hommes politiques n'osent pas vous dire. Paris, Odile Jacob, 2013. 240p. ISBN 978-2-7381-2979-6
- JOBERT Marine, VEILLERETTE François. Gaz de schiste, de la catastrophe énergétique au mirage énergétique. Arles, Actes Sud, 2013. 222p. ISBN 978-2-7609-0896-3
- JOUX Stéphane, La crise pétrolière : Quel discours dans l'ombre du réchauffement climatique? Éléments d'analyse discursive, Université de Fribourg, département de géoscience, décembre 2008. 65p. [PDF]. http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/assets/files/bachelor-theses/joux2008_trp2.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- KUMHOF Michael & MUIR Dirk. Oil and the World Economy : Some possible Futures. IMF Working Paper Research Department, Octobre 2012. 31p. [PDF]. https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2012/wp12256.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- LAHN Glada et STEVENS Paul . Burning Oil to Keep Cool - The Hidden Energy Crisis in Saudi Arabia. December 2011. [PDF]. http://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/public/Research/Energy%2C%20Environment%20and%20Development/1211pr_lahn_stevens.pdf, consulté le 04 mai 2015.
- LAMBERT Jessica G, HALL Charles A.S., BALOGH Stephen, GUPTA Ajay, ARNOLD Michelle. Energy, EROI and quality of life. Energy Policy 64 (2014) p.153-167. [PDF]. http://mahb.stanford.edu/wp-content/uploads/2014/03/energy-policy_Lambert_et.al_2013.pdf, consulté le 16 mai 2015.
- LAURENT Éric. La face cachée du pétrole. Paris, Plon, 2006. 411p. ISBN 2-259-20323-X
- Le Monde Diplomatique, L'Atlas 2013 – Mondes émergents. Paris, La Librairie Vuibert , 2012 .196p. ISBN : 978-2-311-01229-3

- LECKIE Cameron. Peak Oil and the Australian army. Australian Army Journal. Volume IV, Number 3, 21-37. 2007. [PDF]. https://hosting.umons.ac.be/php/aspo/public_html/ftp_aspo/Peak_Oil_Australian_Army.pdf, consulté le 30 avril 2015.
- LEHMANN Paul-Jacques. Économie des marchés financiers. Bruxelles, De Boeck, 2011. 245p. ISBN 978-2-8041-6308-2
- LESCARTS R. & COLLECTIF. Dictionnaire des métaux non ferreux. Bruxelles, Marabout université,1972. 224p.
- LEVI Giuseppe, FOSCHI Evelyn, HARTMAN Torbjörn, HÖISTAD Bo, PETTERSSON Roland, TEGNÉR Lars, ESSÉN Hanno. Indication of anomalous heat energy production in a reactor device. 31p. http://arxiv.org/pdf/1305.3913.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- LLOYD'S. Sustainable Energy Security - Strategic risks and opportunities for business, 2010. 44p. [PDF]. https://www.lloyds.com/~/media/lloyds/reports/360/360%20energy%20security/7238_lloyds_360_energy_pages.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- MARIS Bernard. Antimanuel d'économie - Tome 1, Les fourmis. Levallois-Perret, Éditions Bréal, 2003. 358p. ISBN 978-2-7495-0078-2
- MARIS Bernard. Antimanuel d'économie - Tome 2, Les cigales. Levallois-Perret, Éditions Bréal, 2003. 382p. ISBN 978-2-7495-0629-6
- MARSHAK Stephen. Terre, portrait d'une planète. Bruxelles, De Boeck Université, 2010. 833p. ISBN 978-2-8041-3507-2
- MAURIAUD Pierre. Tensions énergétiques, réalités des plateaux de production et conséquences possibles. Géologues n°170, septembre 2011. ISSN : 0016.7916, 32-34 . [PDF]. http://www.google.be/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.geosoc.fr%2Fnumero-actuel%2Fdoc_download%2F162-tensions-energetiques-realites-des-plateaux-de-production-et-consequences-possibles.html&ei=e11UVfyzCoWrsQGaooHoAQ&usg=AFQjCNGXePnDm44960O4UeXkGfDo0WC4BQ&bvm=bv.93112503,d.bGg, consulté le 14 mai 2015.
- MEADOWS Donatella, MEADOWS Dennis, RANDERS Jorgen. Les limites à la croissance (dans un monde fini). Paris, Éditions Rue de l'échiquier, 2012. 425p. ISBN 978-2-917770-35-1
- MEILHAN Nicolas, Comprendre ce qui cloche avec l'énergie (et la croissance économique) en 5 minutes, avril 2015. [Présentation Powerpoint]. http://fr.slideshare.net/NicolasMeilhan/comprendre-ce-qui-cloche-avec-lnergie-et-la-croissance-conomique-en-7-slides-et-3-minutes, consulté le 26 avril 2015.
- Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. Impact du séisme au Japon sur l'économie mondiale. Trésor-éco n°100, avril 2012. https://www.tresor.economie.gouv.fr/File/341196, consulté le 14 mai 2015.
- MIRABEL François. Taxe carbone et localisation des entreprises. Septembre 2010. http://www.researchgate.net/profile/Francois_Mirabel/publication/259175192_Frontires_gographiques_de_lentreprise_et_rchauffement_climatique/links/00b4952a1e24977df3000000.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- NATIXIS. Et si la crise de 2008-2009 avait été aussi déclenchée par un choc pétrolier?. Flash économie - Recherche économique n° 629 du 25 août 2014. 6p. [PDF]. http://cib.natixis.com/flushdoc.aspx?id=78481, consulté le 14 mai 2015.
- NEHRING Richard. Giant oil fields and world oil ressources. Report prepared for the Central Intelligence Agency R-2284-CIA. Santa Monica, The Rand corporation, juin 1978. 162p. [PDF].

https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2006/R2284.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- NEWELL Peter, PATERSON Matthew. Climat et capitalisme – Réchauffement climatique et transformation de l'économie mondiale. Bruxelles, De Boeck, 2011. 219p. Coll. Planète en jeu. ISBN 978-2-8041-6581-9
- OACI, La hantise du carburant. Le journal de l'OACI, Volume 64, Numéro 1, 2009. [PDF] . http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Publications/fr/6401_fr.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- OCDE. Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 : Les conséquences de l'inaction – Synthèses. 10p. [PDF]. https://www.oecd.org/fr/env/indicateurs-modelisation-perspectives/49884240.pdf, consulté le 25 mars 2015.
- ODLAND Sarah. Strategic choices for managing the transition from peak oil to a reduced petroleum economy. Mercy College, NY, juin 2006. 120p. [PDF] http://www.ldeo.columbia.edu/~odland/, consulté le 22 avril 2015.
- PARKS Olivier. L'avenir du pétrole. Escalquens, Éditions Dangles, 2012. 303p. ISBN 978-2-7033-0954-3
- PORCHER Thomas. Le mirage du gaz de schiste. Paris, Max Milo Éditions, 2013. 63 p. ISBN 978-2-31500-466-9
- Qantas Airways Ltd, Australian feedstock and production capacity to produce sustainable aviation fuel, 2013. 105p. [PDF]. https://www.qantas.com.au/infodetail/about/environment/aviation-biofuel-report.pdf, consulté le 6 mai 2015.
- Réactif N°59. L'énergie grise ou l'empreinte énergétique des produits. Mars – Avril – Mai 2009. [PDF]. http://energie.wallonie.be/servlet/Repository/reactif_59.pdf?ID=12000, consulté le 14 mai 2015.
- Revue Sécurité globale. Sécurité énergétique, dossier n° 15 - printemps 2011. Cachan, Édition Lavoisier, 2011. 142p. ISBN 978-2-36259-020-7
- ROBELIUS Fredrik. Giant fields oil in the world. 23 mai 2005, [Présentation PowerPoint]
- ROBELIUS Fredrik. Giant Oil Fields -The Highway to Oil. Giant Oil Fields and their Importance for Future Oil Production. 2007. 168p. Uppsala. [PDF]. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:169774/FULLTEXT01.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- RODDIER François, Le syndrome de la reine rouge. Institut Momentum, Séminaire du 6 avril 2012. 15p. [PDF]. http://www.institutmomentum.org/wp-content/uploads/2013/10/le-syndr%C3%B4me-de-la-reine-rouge.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- RODDIER François. La thermodynamique des transitions économiques. Texte de la conférence du 12 mars 2015. 14p. [PDF]. http://www.pauljorion.com/blog/wp-content/uploads/Shift-Roddier.pdf, consulté le 31 mars 2015.
- ROYER Pierre. Géopolitique des mers et des océans – Qui tient la mer tient le monde. Paris, Presses Universitaires de France, 2014. 203p. ISBN 978-2-13-063389-1
- SCHNEIDER François. L'effet rebond. Article paru dans l'Écologiste, Édition française de The Ecologist n°11 Octobre 2003, Vol 4, n°3, p45. [PDF]. http://www.decroissance.org/francois/recherche/articles/effet_rebond.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- SERVIGNE Pablo & STEVENS Raphaël. Comment tout peut s'effondrer. Paris, Éditions du seuil, 2015. 301p. Coll. Anthropocène. ISBN 978-2-02-122331-6
- SERVIGNE Pablo & STEVENS Raphaël. Résilience en temps de catastrophe. Barricade. 2013. 8p. [PDF].

http://www.barricade.be/sites/default/files/publications/pdf/2013-pablo_et_raphael-resilience_en_temps_de_catastrophe.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- SERVIGNE Pablo. Nourrir l'Europe en temps de crise : vers des systèmes alimentaires résilients. Jambes, Éditions Nature & Progrès, 2014. 192p. ISBN 978-2-930386-52-2
- SLINGERLAND Oskar, VAN MOURIK Maarten. La crise incomprise – Quand le diagnostic est faux, les politiques sont néfastes. Paris, L'Artilleur, 2014. 171p. ISBN 978-2-81000-573-4
- SORELL Steve,SPEIRS Jamie & al. Global Oil Depletion : An assessment of the evidence for a near-term peak in global oil production. London, UKERC, 2009. 198p. ISBN 1-903144-0-35
- SPF Énergie, Le marché de l'énergie en 2010. 78p. [PDF]. http://economie.fgov.be/fr/binaries/Le_marche_de_l_energie_en_2010_tcm326-227346.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- STEEL Carolyn. Hungry city- How food shapes our lives. Londres, Vintage, 2013. 383p. ISBN 978-0-0995-8447-6
- STEFFEN Will, CRUTZEN Paul J. & McNeill John. The Anthropocene : Are Humans Now Overwhelming The Great Forces Of Nature ? Ambio, Vol. 36, No. 8. 2007. p. 614-621. http://mfs.uchicago.edu/public/institutes/2013/climate/prereadings/steffen_et_al—the_anthropocene.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- TAINTER Joseph. L'effondrement des sociétés complexes. Aube, Le retour au sources, 2013. 299p. ISBN 978-2-35512-051-0
- THE PRESIDENT'S COMMISSION ON CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION. Critical foundations protecting america's infrastructures. Octobre 1997. 192p. [PDF]. https://fas.org/sgp/library/pccip.pdf, consulté le 30 avril 2015.
- THÉVARD Benoît. L'Europe face au pic pétrolier : rapport annexe 3. Classification des hydrocarbures. 2012. 7p. [PDF]. http://ddata.over-blog.com/3/98/62/65/Rapport-Annexe-3_Classification-hydrocarbures.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- THÉVARD Benoît. La diminution de l'énergie nette, frontière ultime de l'Anthropocène. Institut Momentum. Séminaire du 13 décembre 2013. 7p. [PDF]. http://www.institutmomentum.org/wp-content/uploads/2014/01/La-diminution-de-l%E2%80%99%C3%A9nergie-nette.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- TOTAL. « Offshore profond une aventure technique et humaine ». Octobre 2012. 12p. [PDF]. http://www.total.com/sites/default/files/atoms/files/offshore-profond.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- TRITTIN Jurgen. Affaires étrangères et énergie : quand les défenseurs de la sécurité et les environnementalistes se rencontrent. http://www.etopia.be/spip.php?article589, consulté le 14 mai 2015.
- TURNER Graham. A comparison of the limits to growth with thirty years of reality. Canberra, CSIRO Working Paper Series 2008-09. 49p. ISN : 1834-5638 [PDF]. http://www.manicore.com/fichiers/Turner_Meadows_vs_historical_data.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- TVERBERG Gail. Financial Impacts of Reaching 'Limits to Growth'. 2011. [PDF]. https://gailtheactuary.files.wordpress.com/2011/10/financial-impacts-of-reaching-limits-to-growth.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- U.S. House of Representatives Committee On Energy And Commerce Minority Staff. Chemicals used in hydraulic fracturing. april 2011. 32p. [PDF] http://democrats.energycommerce.house.gov/sites/default/files/documents/Hydraulic-Fracturing-Chemicals-2011-4-18.pdf, consulté le 14 mai 2015.

- UK INDUSTRY TASKFORCE ON PEAK OIL & ENERGY SECURITY (ITPOES). The Oil Crunch - A wake-up call for the UK economy, Second report. 2010. 60p. [PDF]. http://www.foresightfordevelopment.org/sobipro/download-file/46-900/54, consulté le 14 mai 2015.
- Umons, ULB. Évaluation des conséquences sociales, économiques et administratives d'un prix élevé du baril de pétrole en Région de Bruxelles-Capitale, Rapport final, octobre 2012. 98p. [PDF]. http://www.respire-asbl.be/IMG/pdf/Rapport_Peak_Oil_Region_Bruxelloise_Oct2012.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- UNITED STATES JOINT FORCES COMMAND. The Joint Operating Environment 2008. 56p. [PDF]. http://fas.org/man/eprint/joe2008.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- UNITED STATES JOINT FORCES COMMAND. The Joint Operating Environment 2010. 76p. [PDF]. http://fas.org/man/eprint/joe2010.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- URRY John. Post petroleum. Paris, Éditions Loco, 2014. 72p. ISBN 978-2-9195072-90
- US Army. Army Net Zero - Energy Roadmap and Program Summary. 2013. 56p. [PDF]. http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60992.pdf, consulté le 04 mai 2015.
- US Army. Defense Sustainability : Energy Efficiency and the Battlefield. 2010. 40p. [PDF]. http://www.globalgreen.org/docs/publication-112-1.pdf, consulté le 04 mai 2015.
- US Navy. Energy Program for Security and Independence. 2010. 28p. [PDF]. http://greenfleet.dodlive.mil/files/2010/04/Naval_Energy_Strategic_Roadmap_100710.pdf, consulté le 04 mai 2015.
- USAF. Air Force Energy Plan 2010. 38p. [PDF]. http://www.safie.hq.af.mil/shared/media/document/AFD-091208-027.pdf, consulté le 04 mai 2015.
- USGS. Mineral commodity summaries 2015. Reston, VA, 2015. 195p. [PDF]. http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2015/mcs2015.pdf, consulté le 14 mai 2015.
- VAN VACTOR Samuel A. Introduction to the Global Oil & Gas Business. Tulsa (OK), PennWell Books, 2010. 184p. ISBN 10-1-59370-214-0
- WINGERT Jean-Luc. La vie après le pétrole. Paris, Éditions Autrement, 2005. 238p. ISBN 978-2-7467-0605-7
- WOOD J. R., Peak Oil : the looming energy crisis. Geology dept., Michigan technological university. [Présentation PowerPoint]
- World Economic Forum. Annual Meeting 2013 - Executive Summary. 2013. [PDF]. http://www3.weforum.org/docs/AM13/WEF_AM13_ExecutiveSummary.pdf, consulté le 14 mai 2015.

Lectures de référence sur le pic pétrolier

1. Sites internet

- Association for Studying of Peak Oil (ASPO) : http://www.aspo.be/
- Blog de Jean-Marc Jancovici : http://www.manicore.com/
- Blog de Matthieu Auzanneau : http://www.petrole.blog.lemonde.fr/
- Peak Energy & Resources, Climate Change, and the Preservation of Knowledge : http://energyskeptic.com/
- Statistiques sur la production et la consommation par pays : http://www.indexmundi.com/energy.aspx

2. Livres, rapports et fichiers PDF

- BROCORENS Patrick & Al. Rapport d'enquête publique du parlement wallon sur les liens entre l'économie et le pic pétrolier, et les implications pour la Wallonie. 2014.
- BUNDESWEHR TRANSFORMATION CENTER, Future Analysis Branch. Armed Forces and Technologies in the 21st Century, Environmental Dimensions of Security ; Sub-Study 1 : PEAK OIL : Security Policy implications of scarce ressources. Strausberg, 2010. 112p. [PDF].
- GEORGESCU - ROEGEN Nicholas. La décroissance : Entropie, Écologie, Économie. Paris, Éditions Sang de la Terre, 2011. 297p. ISBN 978-2-86985-168-9
- HEINBERG Richard. Pétrole : la fête est finie. Paris, Éditions Demi-Lune, 2008. 380p. ISBN 978-2-917112-05-2
- HIRSCH Robert, BEZDEK Roger, WENDLING Robert. Peaking of world oil production : Impacts, mitigation, & risk management. Department of Energy. Nova Science Publishers, 2005. 91p. [PDF].
- LECKIE Cameron. Peak Oil and the Australian army. Australian Army Journal. Volume IV, Number 3, 21-37. 2007. [PDF].
- ODLAND Sarah. Strategic choices for managing the transition from peak oil to a reduced petroleum economy. Mercy College, NY, juin 2006. 120p. [PDF]
- SERVIGNE Pablo & STEVENS Raphaël. Comment tout peut s'effondrer. Paris, Éditions du seuil, 2015. 301p. Coll. Anthropocène. ISBN 978-2-02-122331-6
- SLINGERLAND Oskar, VAN MOURIK Maarten. La crise incomprise – Quand le diagnostic est faux, les politiques sont néfastes. Paris, L'Artilleur, 2014. 171p. ISBN 978-2-81000-573-4
- SORELL Steve,SPEIRS Jamie & al. Global Oil Depletion : An assessment of the evidence for a near-term peak in global oil production. London, UKERC, 2009. 198p. ISBN 1-903144-0-35.

3. Ouvrage complémentaire n'ayant pu être exploité

MÓRRÍGAN Tariel. Peak Energy, Climate Change and the Collapse of Global Civilization - The Current Peak Oil Crisis. Santa Barbara, University of California. Octobre 2010. 270p. [PDF]