



CHAIRE ÉNERGIE & PROSPÉRITÉ
Financement et évaluations de la transition énergétique

Ressources documentaires

Méthodologie d'analyse des scénarios utilisés pour l'évaluation des risques liés au climat par une approche paradigmatique PIB-Pétrole.

Application aux scénarios ESSO (1973) et Agence Internationale de l'Énergie (2016)

Michel Lepetit*

Juin 2018

Contact : Michel Lepetit - michel.lepetit@global-warning.fr

* Président de Global Warning, chercheur associé au LIED, expert associé à la Chaire Énergie et Prospérité.

La Chaire Energie et Prospérité

La chaire Energie et Prospérité a été créée en 2015 pour éclairer les décisions des acteurs publics et privés dans le pilotage de la transition énergétique. Les travaux de recherche conduits s'attachent aux impacts de la transition énergétique sur les économies (croissance, emploi, dette), sur les secteurs d'activité (transport, construction, production d'énergie, finance) et aux modes de financement associés. Hébergée par la Fondation du Risque, la chaire bénéficie du soutien de l'ADEME, d'Air Liquide, de l'Agence Française de Développement, de la Caisse des Dépôts, de Mirova, de Schneider Electric et de la SNCF.

Les opinions exprimées dans ce papier sont celles de son (ses) auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement celles de la Chaire Energie et Prospérité. Ce document est publié sous l'entière responsabilité de son (ses) auteur(s).

Les publications de la Chaire Energie et Prospérité sont téléchargeables ici :

<http://www.chair-energy-prosperity.org/category/publications/>

Méthodologie d'analyse des scénarios utilisés pour l'évaluation des risques liés au climat par une approche paradigmatique PIB-Pétrole

Application aux scénarios ESSO (1973) et Agence Internationale de l'Énergie (2016)

Résumé

- 1) Les séries de données historiques mettent en évidence le lien très fort entre pétrole brut et économie réelle au cours de la période qui a suivi la Seconde Guerre mondiale ; après les deux crises pétrolières des années 1970, cette forte relation entre le pétrole (en volume) et la croissance économique (PIB) mondiale devient plus complexe, mais le couplage est resté fort jusqu'à nos jours.
- 2) Les scénarios de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), qui sont des références obligées dans le domaine des scénarios de transition énergétique utilisés pour l'analyse des risques liés au climat, ne tiennent pas compte de cette complexité.
- 3) Par ailleurs, on peut voir que d'autres scénarios d'experts de l'énergie conçus dans un passé proche ont été trop optimistes dans leurs prévisions ; même à la veille d'une crise aussi énorme que la crise pétrolière mondiale de 1973.
- 4) Nous proposons une approche macroéconomique paradigmatique de ces scénarios basés sur les données pétrole et PIB qui met en évidence certaines faiblesses structurelles des scénarios de l'AIE.

Summary

- 1) Historical data series highlights the very strong link between crude oil and the real economy during the post-WWII period ; after the two oil crises of the 1970s, that strong relationship between oil and economic growth (GDP) becomes more complex, but the coupling remains strong up to now.
- 2) International Energy Agency (IEA) scenarios, which are mandatory benchmarks in the field of energy and climate transition scenarios for risk analysis, do not take into account this complexity
- 3) Besides, one can see that other expert scenarios conceived in the past were over-optimistic in their forecast, even on the brink of such a huge crisis as the oil global crisis of 1973.
- 4) We propose a paradigmatic macroeconomic approach of scenarios based on oil & GDP data that highlights some structural weaknesses of IEA scenarios.

Remerciements

Je tiens à remercier V. Court, A. Nguyen Huu, R. Grandjean, J. Treiner, A. Bergeaud et M. Auzanneau pour leurs commentaires et leurs analyses toujours stimulantes ; ainsi que les « shifters » bénévoles de The Shift Project.

INTRODUCTION

Dans le domaine de l'évaluation des risques liés au changement climatique, la méthode d'analyse des risques de type « risque de transition » par le recours à des scénarios prospectifs apparaît comme la grande innovation conceptuelle, depuis la COP21 et le traité international de l'Accord de Paris en 2015.

L'année 2015 est en effet une étape importante pour une meilleure compréhension des risques² liés au climat :

- la température moyenne du globe est repartie à la hausse. Avec le record de 2016, la question des risques de type «risque physique» devient prégnante, et les thèmes de l'impérative adaptation de nos sociétés, de nos institutions, de nos entreprises -voire de leur résilience³- s'imposent dorénavant dans le débat public ;
- le Traité de Paris– quoique non contraignant- donne avec le recensement exhaustif des trajectoires de chacun des pays du globe, un réel crédit à l'approche prospective des scénarios pour anticiper les risques de type « risque de transition ».

Cette note est focalisée sur le risque de transition. Il est proposé d'illustrer certains enjeux du risque de transition à l'aide d'une méthode paradigmatique d'analyse des scénarios pour les décideurs politiques ou du secteur privé, et notamment les dirigeants de grandes entreprises. Ceux-ci ont souvent une vision macroéconomique de leur champ d'action, au moins pour ce qui touche à leur propre secteur d'activité.

Un scénario et des scénarios

Dans son rapport final⁴ sur les risques liés au climat remis au G20 en juillet 2017, la TCFD (Task Force on Climate-Related Financial Disclosures, émanation du Conseil de Stabilité Financière (FSB)) recommande le recours aux méthodes de l'analyse prospective basée sur des scénarios ; tant pour le risque physique⁵, que pour le risque de transition. Néanmoins, la TCFD laisse ouverte la question de la conception et de la fabrication – internalisée ou sous-traitée- de tels scénarios pour évaluer les risques de transition⁶. La seule recommandation ferme de la TCFD est que, parmi ces scénarios, il en soit un compatible avec l'objectif 2°C⁷.

Enjeu fondamental de cette méthodologie en matière de risque, la question du choix des scénarios va probablement conduire de nombreux décideurs, qu'il s'agisse d'entreprises industrielles ou du secteur financier, à privilégier les scénarios de l'AIE (Agence Internationale

² On distingue généralement le « risque physique », associé aux impacts physiques du changement climatique sur l'économie (rendements ; sinistralité ; santé...), et le « risque de transition », associé aux évolutions de l'économie vers un fonctionnement bas carbone, évolutions liées aux technologies, aux décisions politiques, aux attentes des consommateurs etc.

³ *Etre résilient dans un monde qui se réchauffe*, A. Winston, Harvard Business Review France, Décembre 2017.

⁴ *Technical Supplement: The Use of Scenario Analysis in Disclosure of Climate-related Risks and Opportunities*, TCFD, June 2017. Téléchargeable ici : <https://bit.ly/2y3sT8S>

⁵ Pour les risques physiques, elle recommande naturellement les scénarios du GIEC.

⁶ Sur le choix des scénarios, voir page 5 du rapport TCFD - *Considerations for Building Climate Change into Scenario Analysis*

⁷ Pour une critique de la TCFD et de l'utilisation des scénarios, dans le secteur pétrolier : IHS critique les scénarios de la TCFD pour le secteur O&G. *Climate-related Financial Risk and the Oil and Gas Sector*, IHS Markit, May 2017. Téléchargeable ici <https://bit.ly/2sODrDw>

de l'Énergie). La TCFD met fortement en avant cette institution internationale⁸, proche de l'OCDE : elle bénéficie en effet (1) d'une antériorité d'une dizaine d'années sur le sujet ; (2) et d'une forte compétence, du point de vue énergétique⁹, essentielle ; (3) et de moyens en expertise mobilisable très conséquents.

La probabilité est donc élevée que les scénarios de l'AIE s'installent dans le paysage institutionnel de la lutte contre le changement climatique comme une norme de fait, mondiale. Dans ce contexte, il nous a donc semblé utile de porter d'abord un regard critique sur les scénarios publics produits par l'AIE¹⁰.

La méthode paradigmatique proposée

On propose une méthode d'analyse originale des scénarios en général, et ici de ceux de l'AIE en particulier, sur une base historique longue¹¹, en se focalisant sur deux paramètres :

- le PIB Mondial,
- la production de pétrole brut.

Pourquoi le PIB ?

Le PIB est l'indicateur emblématique de la croissance économique, objet de nombreuses controverses, mais jamais remplacé.

Le PIB est un concept économique hautement critiquable, et critiqué, dont le calcul repose sur de nombreuses conventions qui peuvent paraître fort arbitraires. Le concept de « PIB mondial » pourrait sembler encore plus fragile. Pour autant, c'est un paramètre suivi mondialement par les économistes, et qui est au cœur de la modélisation de l'AIE. Enfin, on ne peut suivre les économistes qui prétendent aujourd'hui que le thermomètre du PIB est cassé quand ils constatent une tendance à la baisse de la productivité mondiale depuis l'année 1973.

Le PIB est un concept très critiqué lorsqu'il est utilisé pour mesurer autre chose que l'activité économique (ou alors dans ce cas les critiques sont d'ordre purement technique).

Une autre dimension du PIB est importante, qui concerne son lien avec le taux d'actualisation à long terme. De par la formule de Ramsay, le taux d'actualisation à long terme est proportionnel au PIB à long terme. Autrement dit, un taux de croissance élevé permet de « gommer » l'avenir dans les calculs d'actualisation – et notamment l'avenir des impacts du

⁸ Le rapport TCFD écrit, à juste titre : *“The most well-known and widely used and reviewed scenarios for transition to a low carbon economy are those prepared by the IEA. A majority of analyses conducted by academic and industry analysts are built upon or compared with the IEA scenarios.”*

⁹ L'AIE admet n'avoir que peu d'éléments à produire sur les autres gaz à effet de serre. Le rapport TCFD écrit : *« The IEA data and scenarios capture the entire energy chain, but not “non-energy” sectors such as land use/land use change/forestry (LULUCF) and process emissions from industry that do not involve fuel combustion. These scenarios can be used to qualitatively assess risks associated with different pathways, but are not suited to producing precise estimates.”*

¹⁰ Pour une analyse critique plus large de l'AIE et de ses scénarios prospectifs (analyse qui ne traite par ailleurs pas les questions soulevées ici), on peut lire notamment : *OFF Track- How the International Energy Agency guides energy decisions towards fossil fuel dependence and climate change*, Oil Change International, April 2018. Téléchargeable ici : <https://bit.ly/2t1JGTP>

¹¹ L'auteur récusé –partiellement- le propos sur l'utilité de l'histoire économique d'A. Le Lorier et A. Dombret, dans : *Finance verte : transformer le risque en opportunité*, Les Echos, 10/07/2017 : *« Les banques et les autres institutions financières doivent procéder à un réexamen complet de leurs modèles et de leurs prévisions afin de s'assurer que les risques liés au climat sont correctement pris en compte. Il s'agit là d'un défi majeur compte tenu de la nature et de l'ampleur à long terme des évolutions auxquelles nous devons faire face, de la faible utilité des données historiques pour les prévoir, et de la forte influence des décisions de politique publique. Des scénarios que l'on peut considérer comme relevant d'un risque extrême pourraient devenir la norme dans le futur. »*. Les données historiques n'ont pas une faible utilité : les chocs pétroliers des années 1970 ont beaucoup à nous apprendre. Mais il est juste de penser que le problème devant nous est encore plus complexe ...

changement climatique-, via un taux d'actualisation élevé : le monde sera à l'avenir suffisamment prospère pour faire face aux impacts physiques. Ceci peut par exemple se répercuter sur toute méthode d'évaluation des risques liés au climat qui viserait les risques d'entreprise, si elle avait recours à la méthode de valorisation d'une entreprise (ou d'un projet) par le taux d'actualisation (Discounted Cash Flow analysis (DCF)).

Pourquoi le pétrole brut ?

Le pétrole brut peut être considéré comme la plus efficace et la plus pratique des énergies primaires. La consommation de pétrole brut¹² –et la réduction de cette consommation- sont en conséquence au cœur de la transition énergétique. On comprend bien les défis à venir en considérant son usage intense, quasi monopolistique, dans le secteur des transports¹³. Le pétrole brut est par ailleurs, par son prix cette fois, un indicateur largement et régulièrement suivi par toutes les institutions économiques internationales. Le pétrole est historiquement au cœur de la création de l'AIE en 1974 ; il est par exemple au centre des préoccupations de The Shift Project, think tank qui alerte depuis sa création en 2010 les décideurs sur les contraintes physiques de disponibilité des ressources auxquelles cette énergie, universellement essentielle, est soumise¹⁴.

Sans nier le caractère pédagogique de l'équation de Kaya¹⁵, notre paradigme remet en cause la vision d'une énergie « unifiée » qu'elle décrit. Théoriquement et physiquement juste (on sait par exemple qu'on peut faire du pétrole avec du charbon), l'équation de Kaya qui relie tautologiquement population, croissance, énergie et CO2 est par trop simplificatrice car elle omet de dire que les sources d'énergie ne sont pas de même qualité, et notamment le pétrole brut.

Le couplage

Notre approche paradigmatique PIB-Pétrole permet d'envisager les périodes de « couplage » fort entre consommation de pétrole brut et PIB. En fait, comme on va le voir, l'histoire contemporaine depuis la fin de la seconde guerre mondiale jusqu'aux temps présents a connu essentiellement deux grandes périodes de couplage : entre 1951 et 2016, 55 années sur 65 auront été sous des régimes de couplage. Les dix années « hors couplage » ont correspondu aux deux chocs pétroliers (1973-1982).

Plus précisément, on définira comme couplage une série d'années successives dont les valeurs pour l'économie considérée (ici l'économie mondiale) des points (log(PIB) et Log(pétrole)) sont fortement alignées, mesuré par le coefficient de détermination R².

¹² La consommation est assimilable à la production puisqu'on l'évalue au niveau mondial. Ceci n'est pas vrai pour une approche « pays ».

¹³ Plus de 95% de l'énergie utilisée dans les transports est issue du pétrole brut. Le débat sur la décarbonation du transport individuel de passagers a pris une ampleur sans précédent au cours de l'année 2017, avec de nombreuses annonces de constructeurs d'automobiles et de pays, voire de collectivités locales. 56% de la production de pétrole est destinée aux transports (dont 26% aux transports routier individuel et 18% au fret routier) et 12% à la chimie. Source IEA WEO 2016, page 117.

¹⁴ Sur le lien entre croissance économique et électricité : Bergeaud A., Cette G. & Lecat R. (2016) – *The role of production factor quality and technology diffusion in the 20th century productivity growth* – Document de travail - Banque de France. <https://bit.ly/2MjSBZY>

¹⁵ Tautologie promue par l'économiste Y. Kaya dans le cadre du premier rapport du GIEC de 1990, qui s'écrit $CO_2 = Population \times (PIB/Population) \times (E/PIB) \times (CO_2/E)$ et focalise l'attention sur le lien entre l'énergie (E) et le PIB.

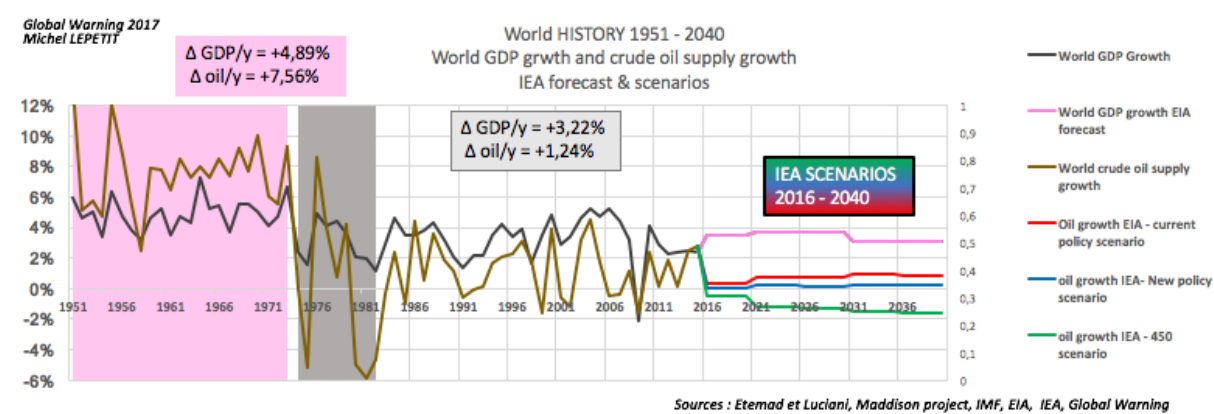
Ce couplage ne donne a priori aucune indication sur une quelconque relation causale d'un paramètre vis-à-vis de l'autre.

On dira qu'il y a « découplage » lorsque la série s'interrompt.

La méthode d'analyse

On s'est intéressé à l'histoire mondiale contemporaine entre 1950 et 2015, parce qu'elle présente des périodes de fortes évolutions, mais aussi de grandes périodes de régimes relativement stables, pour ce qui concerne les deux paramètres analysés : PIB et pétrole brut.

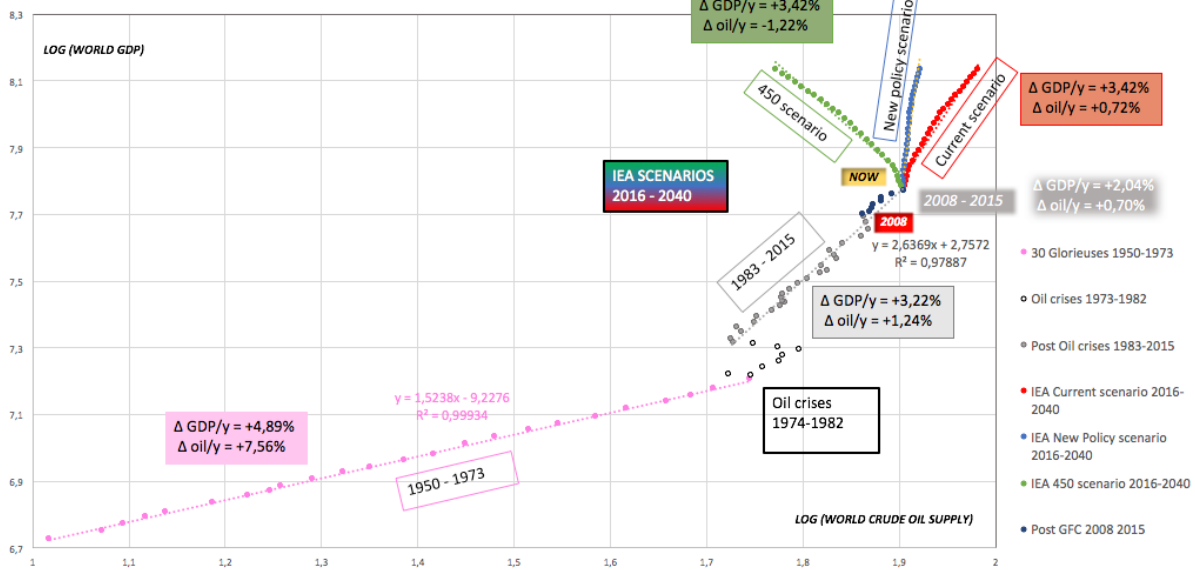
Usuellement, ces paramètres sont représentés sur un graphique tel que le graphique historique ci-dessous (qu'on a poursuivi au-delà de 2015 avec les projections de l'AIE publiées dans le World Energy Outlook (WEO) 2016) :



Le graphique paradigmatique suivant, au format plus original, illustre mieux (1) cet éclairage du passé de l'économie mondiale depuis 1950 jusqu'à aujourd'hui, avec les couplages PIB-pétrole ; et révèle mieux (2) les défis à venir entre aujourd'hui et 2040 (date ultime des scénarios prospectifs de l'AIE). Au total, on observe la trajectoire économique et énergétique du monde sur presque un siècle¹⁶.

¹⁶ Le point en bas à gauche représente l'année 1951. Les points tout en haut (rouge, bleu ou vert) les trois versions différentes de l'année 2040.

WORLD GDP & CRUDE OIL PRODUCTION (in Log/log)
IEA ENERGY (& GDP) SCENARIOS 2016-2040
HISTORICAL DATA 1950 - 2015



En ordonnée – selon l’axe vertical- est représenté le PIB mondial ; en abscisse – selon l’axe horizontal- est représentée la production de pétrole brut mondiale¹⁷. Chaque point représente donc une situation du monde pour une année donnée, en log(PIB) et en log(production de pétrole brut). Les valeurs sont calculées et représentées en logarithme (log), pour mieux visualiser et lisser les variations dans le temps. Cette représentation en Log/log fait apparaître de manière « visuelle » très saisissante sur de grandes périodes l’asservissement du PIB au pétrole brut : c’est ce qu’on a défini dans cette note comme étant le « couplage ».

La méthodologie d’obtention des valeurs du graphique est présentée en annexe à cette note.

¹⁷ La consommation de brut et sa production sont assimilables, aux variations de stock près, relativement faibles.

1. Cadre et analyse du passé : 1950-Aujourd'hui

Les trente glorieuses

La première partie du graphique représente, en partant du quadrant inférieur - gauche et en progressant vers le quadrant supérieur - droite, les situations du monde depuis 1950 jusque 1973 (points de couleur rose). On constate un alignement très remarquable de ces points annuels, qui se situent presque sur une droite. Cela confirme une exceptionnelle corrélation¹⁸ entre production de brut et PIB pendant les trente glorieuses. Durant cette période « prospère », le PIB mondial a progressé rapidement, en moyenne de près +5% par an (+4,89%) ; et la production mondiale de pétrole brut au rythme très élevé de +7,56% par an.

Pendant cette période du pétrole roi, à l'échelle énergétique du monde, ce pétrole abondant s'est emparé de la première place devant le charbon, le rapport 1/3 pétrole 2/3 charbon qu'on connaissait après-guerre s'étant inversé à la fin de la période.

Anticipations début 1973

On a indiqué sur le graphique ci-dessous – toujours en coordonnées log(PIB) / log (pétrole brut) - la projection sur notre graphique d'un premier scénario prospectif. Il s'agit du scénario réalisé par la société pétrolière ESSO au printemps 1973¹⁹, quelques mois avant la crise pétrolière d'octobre 1973. Les prévisionnistes d'ESSO ayant écarté un fléchissement de l'activité mondiale dans leur prévision, on a poursuivi la tendance de croissance du PIB mondial dans cette projection²⁰.

A l'époque, ces experts sont néanmoins conscients de la trajectoire extrêmement dynamique de la consommation de brut (+7,56% par an), et, par prudence, « restreignent » (sans aucunement la justifier) leur anticipation de progression annuelle de la consommation mondiale de brut à +5,6% par an (au lieu des +7,56%).

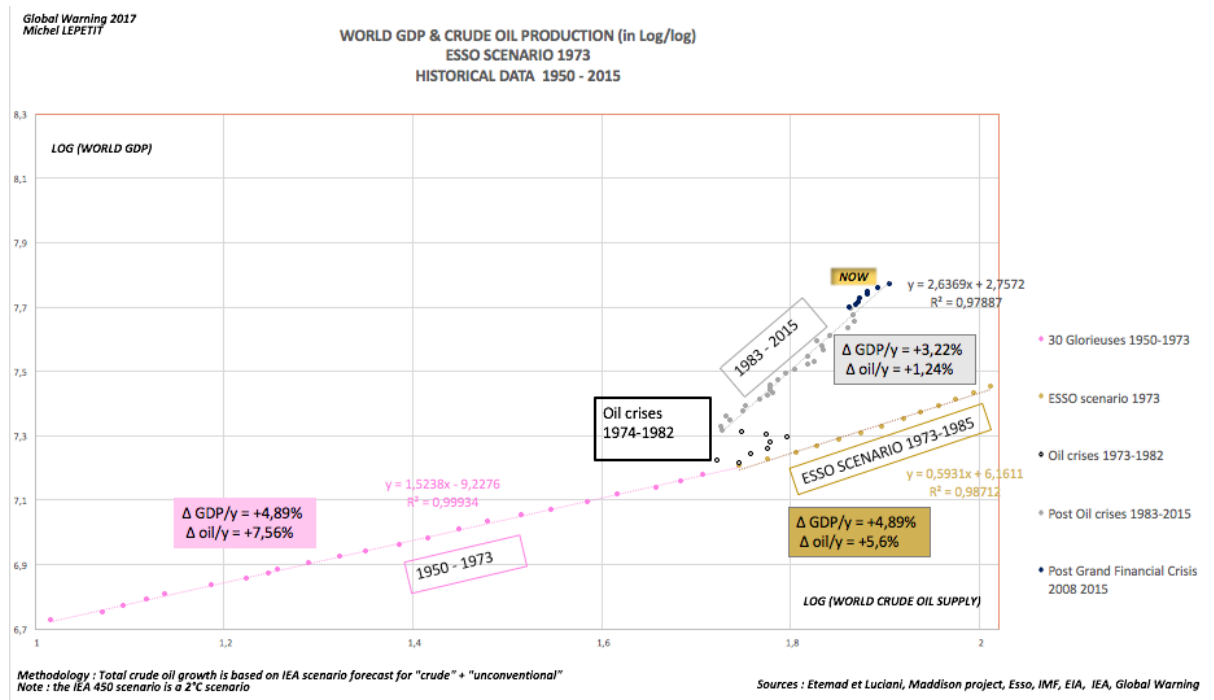
Quoi qu'il en soit, on voit d'évidence le caractère encore beaucoup trop optimiste de cette projection²¹. Pour l'année 1985, limite de leur exercice de prospective, les prévisionnistes d'ESSO prévoyaient une production de brut à 106 Millions de barils par jour. On est aujourd'hui à 81 Millions de baril de pétrole brut, et aucun expert ne pense que le chiffre de 106 MB/j sera jamais atteint.

¹⁸ avec un coefficient de détermination $R^2 > 0,99$

¹⁹ Scénario ESSO : Revue Pétrole & progrès Octobre 1973 – N°96

²⁰ Les experts d'ESSO écrivent : « Si l'on postule la poursuite des tendances récentes, c'est-à-dire l'absence de tout événement venant perturber gravement l'évolution économique, on peut s'attendre (...) »

²¹ On se doit de citer la phrase d'Albert Einstein –est-ce grave si elle est apocryphe ? : “Les intérêts composés sont la plus grande force dans tout l'univers.”



Plus spectaculaire, l'extrapolation jusqu'à nos jours des prévisions d'ESSO de 1973 conduirait à une production en 2017 de plus de 500 millions de barils/jour, et un cumul des barils extraits du sol de l'ordre de 3600 Milliards de baril à ce jour. Les limites physiques de notre planète auraient été atteintes bien avant²² : les experts évoquent aujourd'hui des chiffres de ressources mondiales qui resteraient extractibles –1350 milliards de barils ont déjà été extraits à ce jour- du même ordre de grandeur : 2201 milliards de barils encore disponibles en pétrole brut conventionnel ; 420 milliards de barils en « tight oil » (IEA WEO 2016, p 128)²³. Notons enfin qu'en maintenant le rythme passé de progression du PIB mondial (le +4,89% par an), celui-ci aurait atteint aujourd'hui le double du PIB mondial actuel !

²² Les auteurs écrivent en mars 1973 : « Tout ce pétrole, où va-t-on le trouver ? Aujourd'hui, selon une enquête de Oil and Gas Journal, près de 70% des réserves prouvées des pays non-communistes sont localisées au Moyen-Orient et 11% en Afrique. Au total, près de 85 % sont sous le contrôle des pays membres de l'OPEP. De nouvelles découvertes vont bien entendu intervenir dans les prochaines années, mais il paraît inéluctable que les principaux pays occidentaux industrialisés doivent toujours compter dans une large mesure sur le pétrole importé des pays de l'OPEP, et particulièrement du Moyen-Orient. (...). Ce taux élevé de dépendance à l'égard du pétrole importé comporte des risques évidents sur le plan de la sécurité des approvisionnements et soulève de graves problèmes pour la balance des paiements. »

²³ Il va sans dire qu'en extrapolant la tendance passée d'une croissance de la consommation mondiale de brut de +7,5% par an, les résultats d'une telle extrapolation défont encore plus ces limites physiques.

Les chocs pétroliers 1973-1982

La trajectoire des « trente glorieuses », sans cohérence avec les réalités physiques de la planète, ne pouvait donc être maintenue. Elle devait s'infléchir très fortement, pour rester compatible avec les contraintes physiques²⁴. Cette inflexion brutale, cette rupture de l'asservissement entre PIB et pétrole brut, ce « découplage » fut appelé à l'époque la « crise des années 1970 ». Il s'est étalé entre 1973 et 1982²⁵, entrecoupé de deux « chocs » pétroliers : 1973 et 1979.

Ces chocs pétroliers ont été accompagnés d'une hausse des prix mondiaux, inflation universelle et généralisée sans précédent –hors périodes de guerres mondiales– dans l'histoire de l'humanité depuis quatre siècles²⁶. En dollars constants, les prix du pétrole ont été multipliés par 5 entre 1970 et 1974. Puis par 2 entre 1978 et 1980. En dollars courant, sur 10 ans, ces chocs auront produit une multiplication des prix du baril par 20.

Accompagnant une mobilisation politique de grande ampleur, le « signal prix » a alors été suffisamment fort et clair pour entraîner des mutations multiples et systémiques des organisations politiques, institutionnelles, économiques et sociales²⁷ qu'on ne décrira pas ici, mais qui ont eu comme conséquences de violents soubresauts de la croissance économique mondiale : ces chocs sont visibles sur le graphique (les années de la période 1973-1982 sont représentées par des cercles noirs).

Partout dans les pays importateurs d'or noir, le pétrole a été l'objet (1) de projet de maîtrise de la consommation²⁸ ; et (2) de substitution massive de sources d'énergie : notamment dans la production d'électricité²⁹ ; ou encore dans le chauffage résidentiel.

L'investissement dans le secteur pétrolier, en recherche de nouvelles ressources physiques, atteint 14 milliards de dollars en 1973. Le taux de progression annuel du CAPEX qui était de +8,9% sur la période 1963-1973, passe à +24,1% (avant inflation) pour la période 1973-1982³⁰.

²⁴ Ceci n'a donc rien à voir avec la Guerre du Kippour de 1973, qui ne fut qu'un simple prétexte. La surchauffe en matière de consommation pétrolière est perceptible depuis 1967, et exprimée officiellement par l'Amérique dès 1971. Voir par exemple le discours de Nixon en juin 1971 : (...) *Our energy demands have grown so rapidly that they now outstrip our available supplies, and at our present rate of growth, our energy needs a dozen years from now will be nearly double what they were in 1970. In the years immediately ahead, we must face up to the possibility of occasional energy shortages and some increase in energy prices. Clearly, we are facing a vitally important energy challenge. If present trends continue unchecked, we could face a genuine energy crisis. But that crisis can and should be averted, for we have the capacity and the resources to meet our energy needs if only we take the proper steps--and take them now.*

²⁵ Le choix des dates 1973 et surtout 1982 se justifie notamment par les dates des récessions de ces années-là aux USA : Nov. 1973 – Mars 1975 ; puis janv. 1980-juill. 1980 ; puis Juill. 1981- Nov. 1982. Source : NBER - US Business Cycle Expansions and Contractions. <https://bit.ly/1nEO3u3>

²⁶ Voir le Document de travail de l'auteur en cours de réalisation sur le sujet. Voir notamment la base de données JORDÀ-SCHULARICK-TAYLOR MACROHISTORY DATABASE (1870-2013). <http://www.macrohistory.net/data/>

²⁷ Sur la rupture des années 1970, nous invitons le lecteur à lire le premier chapitre de l'ouvrage de Marcel Gauchet – L'avènement de la démocratie, IV : le nouveau monde ; ou encore les travaux d'historiographie de l'historien F. Hartog. Les deux auteurs, spécialistes des sciences humaines, présentent les transitions, crises, ruptures, mutation qui accompagnent cette période. Pour autant, ils n'en comprennent pas les fondements.

²⁸ C'est aussi la création de l'ADEME en France. Voir également les documents d'archives de la Banque de France 1974-1982 publiés sur le site de la Chaire Energie & prospérité par l'auteur sur l'inflexion de la politique monétaire en France, après le choc pétrolier. <https://bit.ly/2tsfPmS>

²⁹ Programme électro-nucléaire français et remplacement de certaines centrales au fuel par des centrales au gaz.

³⁰ N. Ait-Laoussine & F.R. Parra – OPEC Review – printemps 1985.

Après les chocs pétroliers

Une troisième période de l'histoire contemporaine s'est alors ouverte (1983-2016), jusqu'aux temps présents. Elle correspond à un nouveau régime stable de couplage entre croissance et consommation pétrolière (points annuels grisés sur le graphique).

La corrélation entre croissance du PIB et pétrole brut reste en effet très forte dans ce nouveau régime³¹, mais les valeurs moyennes des paramètres macroéconomiques de cette période ont été très fortement modifiés. La consommation mondiale de pétrole brut ne progresse plus que de +1,24% par an sur cette période : soit près de 6 fois moins vite qu'avant le choc des années 1970 ; le PIB mondial a lui aussi ralenti, dans une proportion moindre, avec une progression moyenne de +3,22% à compter de 1982 ; pour +4,89% avant 1973. Grâce aux économies d'énergie, grâce aux substitutions entre énergies, le pétrole brut consommé est dorénavant plus efficace, mais la croissance économique mondiale a néanmoins été affectée.

En 2008, la grande crise financière et ses conséquences feront prendre conscience que non seulement un maintien de cette croissance mondiale n'était pas acquis, mais qu'elle semblait avoir structurellement fléchi : elle ne sera plus que de 2% environ en moyenne entre 2008 et 2015. Le débat sera alors lancé sur la « stagnation séculaire »³² de l'économie mondiale. Un grand nombre d'experts qui se penchent sur la baisse de productivité mondiale ont aujourd'hui compris que la mutation s'était produite bien avant, dans les années 1970, autour de l'année 1973.

Premiers constats sur la période historique longue : 1950-2015

Sur une durée longue, à l'échelle de la planète, le paradigme met donc en évidence les trois « régimes » correspondant aux séquences historiques 1950/1973/1982/2015. Avec deux régimes relativement stables 1950-1973 et 1982-2015 ; et une période intermédiaire, très perturbée : 1973-1982. La représentation graphique habituelle, qui est présentée plus haut, où l'axe du temps est en abscisse, illustre aussi ces différents « régimes », avec ses deux périodes de fort couplage.

³¹ avec un coefficient de détermination R^2 de l'ordre de 0,97

³² Paradoxalement, l'économiste le plus en vue sur la stagnation séculaire (Robert Gordon) a bien identifié l'année 1973 comme date d'une crise majeure. Mais il ne fait en aucune manière le lien entre choc pétrolier et baisse mondiale de productivité. On trouvera en annexe un travail récent du Trésor sur la croissance française, et des extraits qui illustrent ce paradoxe.

2. Les scénarios prospectifs de l'AIE

Dans le cadre de recherches menées sur tous les scénarios de la transition énergétique et climatique, il a paru intéressant de considérer les scénarios de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) rendus publics dans son rapport prospectif annuel World Energy Outlook (WEO 2016³³), et selon le même paradigme d'analyse :

- représentation des scénarios de l'AIE d'après le paradigme proposé : on a dû reconstituer les projections de PIB et de production de pétrole anticipées par l'AIE dans son WEO 2016 ;
- impact sur le couplage mondial entre PIB et Brut : les résultats sont visualisés en log/log sur le graphique et interprétés ci-après.

L'AIE produit chaque année, en novembre, avec son fameux rapport prospectif annuel WEO (World Energy Outlook), plusieurs scénarios qui détaillent les perspectives énergétiques mondiales, ainsi que par grands secteurs d'activité ; et par grandes zones géographiques. En Novembre 2016, l'horizon des scénarios de l'AIE était l'an 2040³⁴.

Trois³⁵ scénarios sont produits chaque année par l'AIE.

- (1) Le scénario « tendanciel » (« Current Scenario » ou BAU), scénario aussi dit « de référence », qui prolonge les tendances passées, sans les infléchir.
- (2) Le scénario « volontariste » (« New Policy Scenario ») qui intègre les récentes décisions politiques des états et leur future mise en œuvre. Depuis la COP21 de 2015, il prend en compte les engagements (NDC) pris par chacun des pays à cette occasion.
- (3) Le scénario « 2°C » (aussi appelé « Scénario 450», 450 rappelant le seuil de concentration de CO2 de 450 ppm) qui devrait théoriquement conduire la planète sur une trajectoire d'une augmentation limitée à 2°C (aux incertitudes sur les modèles physiques près).

Les hypothèses du PIB exogène et inaltérable faites par l'AIE

Pour les experts économiques de l'AIE, le PIB est une donnée exogène à leur modélisation de l'avenir. Exogène au sens où il s'agit d'une donnée extérieure à leur modélisation, fournie par les économistes du FMI et de l'OCDE. Conséquence indirecte de cette hypothèse très structurante : la trajectoire économique pour les 3 scénarios de l'AIE aboutit au même niveau de PIB final, comme l'indique le graphique où l'on voit les 3 points finaux (année 2040) des trajectoires représentées alignés sur un même axe horizontal.

Il s'agit d'une hypothèse forte : selon les économistes de l'AIE, les décisions politiques et économiques prises pour réduire les émissions de CO2 devraient donc être sans impact

³³ <https://www.iea.org/newsroom/news/2016/november/world-energy-outlook-2016.html>

³⁴ Voir le rapport sur les scénarios de 2° Investing pour une critique synthétique des scénarios AIE. *The transition risk-o-meter : Reference Scenarios for Financial Analysis*, 2° investing, Juin 2017. <https://bit.ly/2wWB3Kj>

³⁵ Un scénario de substitution (« the sustainable development scenario ») a été produit à l'occasion du WEO2017 en novembre 2017.

significatif sur l'activité économique. Insistons : c'est bien le même et unique scénario de PIB qui s'applique à chacun des trois scénarios³⁶.

On a donc représenté sur le graphique à côté de chaque trajectoire les éléments fournis par l'AIE et/ou estimés par l'auteur, en termes de PIB et de production de pétrole brut³⁷.

Pour le scénario « Current », le scénario tendanciel (on constate sur le graphique un quasi-alignement avec la période 1982-2015), on comprend que les experts de l'AIE reprennent – à peu près, en étant un peu optimiste- les chiffres (PIB et brut) de la dernière période (1983-2015). Leur optimisme consiste à laisser penser que la période très récente (2008-2015) ne constitue qu'une parenthèse en matière de faible croissance économique.

Pour le scénario « New Policy », on peut se poser légitimement la question de l'absence de ralentissement du PIB. L'AIE elle-même se la posait dans des précédents WEO.

Pour le scénario « 450 », cette absence de ralentissement peut même paraître naïve. En s'appuyant sur une telle hypothèse de PIB exogène et inaltérable, et en poussant le raisonnement jusqu'à l'absurde, on pourrait proposer un scénario encore plus radical de totale décarbonation pétrolière en 2040, sans impact sur le PIB !³⁸

Transition et transition : couplage et découplage

Pour ses trois scénarios prospectifs, on constate que l'AIE considère que chaque scénario s'inscrit dans un nouveau régime quasi-stable PIB/brut. Les corrélations sont fortes pour les trois trajectoires. En effet, les trois scénarios intègrent tous une corrélation étroite sur la période 2016-2040 entre PIB et pétrole brut³⁹. Chaque scénario laisse donc penser que le monde va entrer –et relativement rapidement- dans un nouveau « régime » de couplage PIB/pétrole brut. Il y aurait donc transition (passage d'un mode à l'autre) ... sans transition (phase intermédiaire entre deux modes) !

On comparera les deux transitions suivantes, les deux ruptures de régimes :

- futur : celle entre le scénarios « New Policy » (voire le scénario « 450 ») de la période 2016-2040 et la période récentes 1982-2015, d'une part ;
- passé : celle entre la période 1973-1982 et la période 1950-1973, d'autre part.

³⁶ Il est par exemple écrit page 59 du WEO 2016 : *"The GDP trajectory (which is common to all three WEO scenarios), anticipates annual average growth in the global economy of 3.4% for the period to 2040, meaning that the economy as a whole is well over twice as large in 2040 than today."*

³⁷ L'AIE insiste bien sur le lien entre PIB et consommation énergétique, et notamment consommation de pétrole. Mais ce lien, causal PIB -> pétrole, serait à sens unique...

³⁸ C'est le même constat qu'on peut faire sur les « familles » de scénarios du GIEC prévus pour le prochain rapport d'évaluation attendu pour 2022 : au sein d'une des 5 familles appelée SSP (Shared Socioeconomic Pathways), les politiques d'atténuation amenant à différentes trajectoires de GES (RCP 6.0 ; RCP 4.5, RCP 3.4 et RCP 1.9) sont supposées n'avoir aucun impact sur le PIB. Voir Riahi K. & als (2016) - The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview - Global Environmental Change ; et une prochaine publication de l'auteur de la présente note sur ce sujet.

³⁹ Sur la base de l'ensemble des reconstitutions annuelles faites par l'auteur, soit 25 points annuels entre 2015 et 2040, le coefficient de détermination R^2 se situe entre 0,95 à 0,98 selon les scénarios. Pour autant, cette approche est fragile puisque l'AIE ne fournit que quelques valeurs intermédiaires pour les années 2020, 2030, 2040, et qu'on a interpolé entre ces dates.

Dans les deux cas, ces transitions visent une forte inflexion de la consommation de pétrole, et appellent les constats suivants.

- Pour les chocs pétroliers des années 1970, il était possible de substituer directement une autre énergie carbonée abondante au pétrole (par exemple le gaz naturel)⁴⁰ ; ce ne peut plus être le cas aujourd'hui⁴¹.
- Dans les deux cas, le « signal prix » est un outil important pour déclencher la transition. On voit cependant que le signal prix de (1973-1982) (voir Annexe 2), avec des prix décuplés en dollar constant, n'a pas suffi à stopper durablement la progression de la consommation (il l'a seulement ralenti). Le scénario 450 prévoit pourtant, assez rapidement, une baisse de la consommation...
- L'inflexion entre « New Policy Scenario » et « Current Scenario » semble « du même ordre » que celle entre (1950-1973) et (1982-2015). Par contre, l'inflexion que suppose la trajectoire « Scénario 450 » semble extrêmement ambitieuse, pour un même niveau d'activité économique.
- L'inflexion entre le régime (1950-1973) et le régime (1982-2015) s'est réalisée avec une baisse de productivité, et subséquemment de croissance mondiale. Rien de tel n'est anticipé par l'AIE.
- Surtout, cette inflexion entre (1950-1973) et (1982-2015) s'est produite suite à une période « douloureuse » intermédiaire de 10 ans (1973-1982) : une époque quelque peu agitée socio-économiquement⁴². Une telle période intermédiaire n'existe pas dans les scénarios prospectifs de l'AIE. La transition du scénario 450 de l'AIE est donc très soudaine ... et indolore (sans baisse, voire même sans le moindre ralentissement du PIB). Notons qu'une telle soudaineté ne se retrouvait pas dans les scénarios 450 produits par l'AIE par le passé, réalisés depuis 10 ans en commençant avec le WEO2008⁴³. Cette absence de phase intermédiaire – et ce brusque virage- soulignent surtout l'urgence du changement de trajectoire que doit dorénavant négocier l'humanité pour rester sous les 2°C, après avoir trop longtemps tardé.

⁴⁰ Voir le très remarquable article de Dargay & Gatley - World oil demand's shift toward faster growing and less price-responsive products and regions - Energy Policy (2010) "(...) contrasts the substantial demand reductions that occurred after the price quintupling of the 1970's and the minimal demand response to the price quintupling of 1998-2008. In both cases, the decline in world oil demand was primarily the result of OECD fuel-switching in electricity generation and home heating."

⁴¹ C'est le défi que représente une telle transition qui fait notamment promouvoir par le think tank The Shift Project une période d'utilisation massive de véhicules à très basse consommation pour le proche avenir (2 litres au 100 km), sans imposer le « tout électrique » (qui ferait consommer pendant un certain temps une électricité fortement carbonée dans de très nombreux pays). Voir les 9 propositions de The Shift Project pour décarboner l'Europe

⁴² Cette période de crises économiques à répétition est marquée par une flambée mondiale de l'inflation ; par une montée du chômage de masse chronique en Europe et notamment en France ; par l'apparition de déficits publics récurrents dans de nombreux pays ; par l'élargissement des inégalités (voir le saisissant graphique VI-5 « share of income accruing to top 1% » page 108 du rapport 2016/2017 la BRI : *Understanding globalisation*). <https://bit.ly/2JOGDJh>

⁴³ Les précédents WEO de l'AIE ne prévoyaient pas une telle rupture pour leur scénario 450. Voir étude à venir de l'auteur de la présente note.

3. Perspectives de l'approche paradigmatique pétrole/PIB

Ce travail s'inscrit dans un chantier plus global portant sur l'histoire économique de l'énergie. Notre ambition est de :

- contribuer à l'éclairage du rôle essentiel de l'énergie dans la croissance économique ;
- mettre l'histoire en général, et l'histoire économique en particulier, au cœur des réflexions sur la transition énergétique à venir.

Le rôle du pétrole depuis son essor est abordé dans un programme de recherche porté par le LIED (Laboratoire interdisciplinaire des énergies de demain) depuis 2016 : le programme de recherche CH.DUPIN⁴⁴ piloté par Global Warning.

Le modèle paradigmatique pétrole/PIB développé ici s'inscrit dans ce programme, qui permet de disposer de données historiques de consommation de pétrole sur longue durée pour plus de 20 pays.

Outre l'analyse des scénarios prospectifs en débat en 2018, il permet de mettre en évidence la période cruciale que fut celle des deux chocs pétroliers dans les années 1970, pour un très grand nombre de pays développés.

Ce paradigme est en cours d'exploitation selon deux axes.

1. Extension à d'autres scénarios

Appliqué dans l'analyse ci-dessus au scénario ESSO de 1973 et AIE de 2016, ce paradigme a déjà été utilisé pour analyser :

- l'ensemble des scénarios AIE des WEO de 2017 à 2017⁴⁵,
- les scénarios du GIEC de 1990 (Premier rapport d'évaluation : FAR),
- les récents scénarios de la société BP (BP WEO 2018).

2. Visualisation temporelle

L'axe du temps étant « absent » du graphique log/log, et afin de mieux percevoir la dimension temporelle des phénomènes de couplage, il a semblé intéressant de présenter de manière animée et progressive la représentation graphique.

C'est ainsi qu'ont été réalisés à ce jour des maquettes préliminaires⁴⁶ :

- pour le détail du scénario du WEO 2017 de l'AIE, avec rappel du scénario ESSO 1973,
- pour tous les scénarios des WEO de l'AIE (2007-2017),
- pour certains scénarios du GIEC 1990.

⁴⁴ Collection of Historical Data on the Use of Petroleum – International Network. <https://bit.ly/2y3xeca>

⁴⁵ Cette première analyse a fait l'objet d'un commentaire publié en français sur le site du think tank The shift Projet : *LE SCÉNARIO DES SCÉNARIOS DE L'AIE : AÏE AÏE AÏE !* <https://bit.ly/2MjlkNh> et en anglais : *Questioning the scenarios of the IEA* <https://bit.ly/2H1bAK2>

⁴⁶ Ces animations sont disponibles sur le lien suivant : <https://bit.ly/2JDK8it>

Conclusions

Ce paradigme permet de s'interroger globalement sur la pertinence macroéconomique des scénarios de l'AIE, et sur les hypothèses économiques sous-jacentes et fondamentales, pourtant rarement critiquées.

Une autre façon d'expliquer le défi de la transition que présente la consommation de pétrole brut consiste à évoquer l'élasticité au prix de la demande de pétrole. Pour la demande mondiale de pétrole, la valeur de ce paramètre est historiquement très faible, de l'ordre de -10%⁴⁷. On a même pu écrire que l'élasticité de la demande au prix du pétrole était nulle quand le prix du pétrole était bas, comme par exemple à la fin des années 1990. En effet, un doublement du prix (de 10\$ le baril à 20\$, soit +100%) avait alors eu un impact quasiment nul sur la demande.

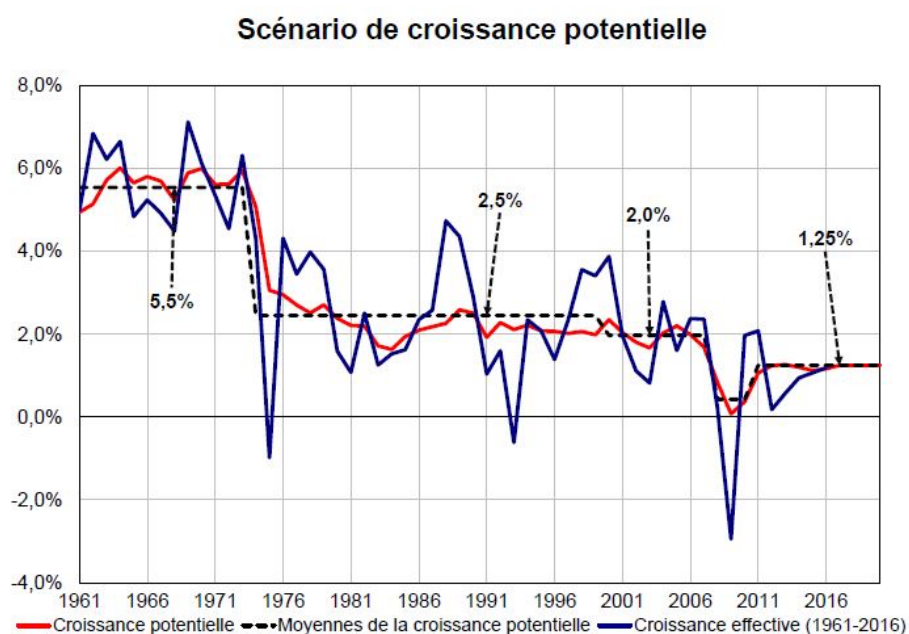
En outre, on peut penser que la longue crise pétrolière de 1973-1982 a diminué cette élasticité de la demande mondiale au prix. Il est en effet devenu plus difficile de substituer d'autres énergies au pétrole après ces chocs. De même, la hausse des prix de 2004-2014 a probablement renforcé encore cette tendance à l'insensibilité de la consommation au prix. Question théorique : quelle hausse du prix du baril faudrait-il aujourd'hui pour entraîner durablement, rapidement et surtout de manière indolore, une baisse tendancielle de la consommation mondiale de pétrole brut de -1,22% par an, telle que prévue dans le scénario 450 du WEO 2016 de l'AIE ?

Enfin, on souhaite alerter les décideurs économiques et financiers sur certains enjeux des scénarios produits par l'AIE, agence émanant de l'OCDE en situation de quasi-monopole institutionnel. Alerter sur certaines hypothèses très critiquables de ces scénarios ; et souligner leur fragilité conceptuelle du point de vue macroéconomique.

⁴⁷ Voir le rapport World Economic Outlook du FMI 2011 : CHAPTER 3 OIL SCARCITY, GROWTH, AND GLOBAL IMBALANCES. Table 3.2. page 113. <https://bit.ly/2t0Jlvd>

ANNEXE 1 : La croissance potentielle en France – TRESOR-ECO – Septembre 2017

<https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2017/09/28/tresor-eco-la-croissance-potentielle-en-france>



Source : Insee, calculs DG Trésor.

(...)

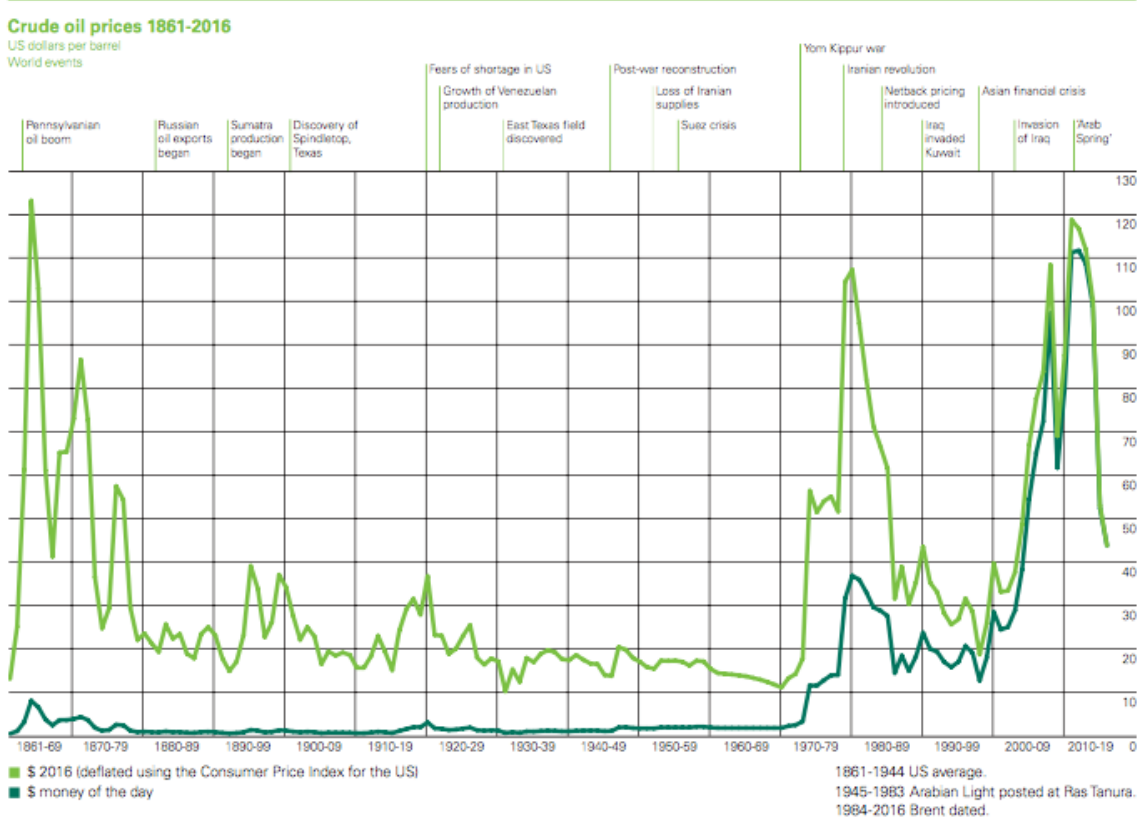
La crise économique de 1973-1974 consécutive au choc pétrolier marque une nette rupture dans la tendance de la productivité (1,5 % par an entre 1974 et 1999 contre 4,1 % précédemment). Ce ralentissement de la productivité aurait entraîné la croissance potentielle à la baisse, autour de 2,5 % sur la période 1974-1999. La contribution du capital est aussi en retrait (+1,0 pt après +1,7 pt par an en moyenne) tandis que le facteur travail aurait continué de peser légèrement sur la croissance potentielle, toujours en raison de la tendance baissière des heures par tête, mais aussi en raison de la montée du chômage structurel à partir du milieu des années 1970.

(...)

Le ralentissement de la tendance de PGF en sortie de crise peut s'expliquer par des facteurs communs à l'ensemble des économies avancées, comme le ralentissement tendanciel des effets du progrès technique observé au niveau mondial depuis 1970 (cf. Gordon, 2012). D'autres explications peuvent être avancées (...)

ANNEXE 2 – Prix du pétrole – rappel historique

Source BPSTAT



ANNEXE 3 – Sources et méthodologies

PIB MONDIAL

Gross domestic product, constant prices - Percent change (market exchange rates)

- FMI séries longues (1980 – 2022)

Site du FMI :

World Economic and Financial Surveys

World Economic Outlook Database

<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/01/weodata/index.aspx>

- Maddison project (1950- 1981)

Données du Maddison project pour les premières périodes, et notamment avant 1960 :

<http://www.ggd.c.net/maddison/maddison-project/data.htm>

- Méthodologie pour le PIB

On utilise Maddison dans la première partie de la série.

Une bonne date pour assurer la continuité d'une série à l'autre est l'année 1981, où les valeurs sont proches pour toutes les séries (dont Banque mondiale, et OCDE).

PETROLE BRUT MONDIAL

IEA : "Data are for crude oil and lease condensate; they exclude natural gas plant liquids."

- Série de l'administration américaine EIA (1973 -)

International petroleum > World crude oil production > World

<https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/>

- Série : Etemad et Luciani (1950 – 1973)

Les données de la série sont disponibles via The Shift Data Portal :

<http://www.tsp-data-portal.org/Energy-Production-Statistics#tspQvChart>

- Méthodologie pour la production de pétrole brut

Pour calibrer les deux séries, on prend le ratio entre les deux valeurs sur la période 1973-1979, et on applique la moyenne de ce ratio pour corriger la série Etemad & Luciani.