

La crise pétrolière

Analyse des mesures d'urgence

Bernard Durand



Extrait de la publication


EDP
SCIENCES

La crise pétrolière

Analyse des mesures d'urgence

La crise pétrolière

Analyse des mesures d'urgence

Bernard Durand



17, avenue du Hoggar
Parc d'Activités de Courtabœuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

Couverture : Pascal Ferrari

Mise en page : Exegraph

Imprimé en France

ISBN : 978-2-7598-0382-8

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2009

Remerciements

Une des difficultés des ouvrages de synthèse, c'est qu'ils demandent des connaissances précises dans un grand nombre de domaines dont l'auteur n'a pas toujours l'expérience suffisante. Cette difficulté est particulièrement présente quand on s'est proposé, comme c'est le cas ici, de débattre de la crise pétrolière et des problèmes qui lui sont liés. Dans ce domaine comme dans d'autres, il existe en effet bien des non-dits qui ne sont explicités nulle part, et rien ne remplace l'expérience personnelle pour être à même de porter un jugement sûr.

Je remercie donc vivement ceux qui m'ont aidé de leur savoir et de leur expérience et m'ont ainsi évité de nombreuses embûches. Je pense plus particulièrement à Pierre Bacher, Daniel Ballerini, Pierre-René Bauquis, Xavier Chavanne, Roland Geoffrois, Jean Laherrère, Pierre Marion, Yves Mathieu, Christophe Maubay, Bernard Multon, Hervé Nifenecker, Georges Pelletier, Alain Quignard, Joachim Resch et Claude Roy, qui ont bien voulu me donner des informations et leur avis sur les aspects qui relèvent plus particulièrement de leur domaine de compétence. J'espère avoir assimilé correctement leurs remarques. Les jugements qui sont exprimés dans cet ouvrage sur l'intérêt des méthodes envisageables pour résoudre la crise pétrolière, et sur celui des diverses sources alternatives d'énergie, restent les miens.

Je remercie également chaleureusement mes amis Philippe Beaudoin, Jean-Pierre Boissard, Gilbert Caroff et Marcel Descamps pour les discussions fort utiles qui ont accompagné la rédaction de cet ouvrage.

Avant-propos

Cet ouvrage a pour but de fournir à des non-spécialistes des repères pour comprendre les raisons de la crise pétrolière actuelle, en prévoir les conséquences et juger de l'intérêt des moyens proposés pour y faire face. La première partie du chapitre 1 explique ce que sont le pétrole et son cousin, le gaz naturel, car la connaissance de leurs propriétés permet de mieux comprendre ce que peuvent être les moyens destinés à les remplacer.

La crise pétrolière était annoncée depuis longtemps. Les géologues pétroliers ont donné l'alerte dès la fin des années 1980, quand il est apparu de façon indiscutable que les quantités de pétrole nouvellement découvertes déclinaient sans cesse et étaient devenues, en année moyenne, durablement inférieures aux quantités consommées. Il est regrettable qu'ils n'aient alors rencontré qu'indifférence, ou même hostilité. Ce n'est guère que depuis deux ou trois ans, quand le prix du pétrole a commencé à s'envoler, qu'ils ont véritablement commencé à être entendus ! Un temps précieux a ainsi été perdu, qui aurait pu être utilisé pour la mobilisation et l'action.

L'incrédulité persiste néanmoins dans une large partie de l'opinion et revient en force à la moindre accalmie sur le front des prix. Fusent aussi de toutes parts les explications a posteriori, et les propositions pour faire face à la situation, dans un flou et une confusion qui résultent d'analyses et d'évaluations quantitatives très insuffisantes. Le terrain médiatique est accaparé, souvent avec véhémence, par les partisans et les adversaires de telle ou telle source d'énergie ou de telle ou telle technique prétendument salvatrice, sans que soit pour autant présenté un bilan raisonné et précis ni des possibilités réelles ni des inconvénients.

Aucun miracle n'aura lieu ! La solution ne peut venir que d'une coopération active et beaucoup plus sincère que celle que l'on voit actuellement à l'échelle internationale, et, dans un premier temps, des efforts faits par les citoyens des pays industrialisés pour réduire leur consommation énergétique. Les pays d'Europe, bien plus exposés que d'autres parce qu'ils n'ont que peu de

ressources sur leur sol, ont tout intérêt à construire rapidement une politique énergétique commune au service de leurs citoyens, ce qui suppose non seulement de dépasser les conflits d'intérêts et les postures idéologiques où ils se complaisent depuis tant d'années, mais aussi de développer beaucoup plus activement la recherche scientifique et technologique dans le domaine de l'énergie. Il est maintenant plus que temps de se mettre en mouvement !

Unités et équivalences énergétiques utilisées

- Le *joule* (J) : c'est l'unité d'énergie du *système international d'unités* (SI). Il s'agit d'une unité très petite : il en faut environ 418 500 sous forme de chaleur pour élever de 0 à 100 °C la température d'un kilogramme d'eau pure.
- Le *watt* (W) : c'est l'unité de puissance du système SI : il vaut donc 1 joule par seconde (1 J/s).
- Le *wattheure* (Wh) : c'est la quantité d'énergie délivrée ou utilisée en une heure, soit 3600 secondes, par un dispositif ayant une puissance de 1 watt. Il vaut donc 3600 joules. Cette unité, qui est donc une unité d'énergie, est utilisée principalement par les électriciens.
- La *tonne-équivalent-pétrole* (tep) : 1 tep vaut approximativement 41,9 milliards de joules (41,9 gigajoules, GJ). C'est la quantité d'énergie chimique que contient une tonne de pétrole de qualité courante et qui est libérée lors de sa combustion. Cette unité est la plus fréquemment utilisée dans le monde pétrolier et par les économistes quand il s'agit d'évaluer les consommations et les productions d'énergie à l'échelle internationale. Dans le monde universitaire, on préfère utiliser l'*exajoule* (EJ), qui vaut 10^{18} joules, car la tep n'est pas une unité du système international d'unités. Un EJ vaut approximativement 23,8 tep.

Les quantités d'énergie chimique ainsi libérables par une tonne de pétrole varient selon leur origine, jusqu'à 5 ou 6 % pour les plus courants, et la tep n'est donc qu'une valeur moyenne, qui a été fixée une fois pour toutes comme standard.

Pour évaluer les réserves et la production de pétrole des gisements, on utilise non plus une unité de poids mais une unité de volume, le *baril*, qui vaut 159 litres.

1 tep équivaut approximativement à 11,7 térawattheures (TWh) et par conséquent 1 kg de pétrole équivaut à 11,7 kWh. Inversement, 1 TWh équivaut à 0,086 tep et 1 kWh équivaut à 0,086 kilogramme-équivalent-pétrole (kep) ou encore 86 gramme-équivalent-pétrole (gep).

La quantité d'énergie libérée en moyenne par la combustion de 1000 m³ de gaz naturel dans les conditions standard de température et de pression (1 atmosphère, 15 °C) équivaut en moyenne à 0,86 tep. Il y a bien sûr des variations très importantes en fonction de la composition du gaz naturel.

Celle libérée par la combustion d'une tonne de bois a été fixée, assez arbitrairement elle aussi, car il y a ici de grosses variations selon la nature du bois et son état, à 0,23 tep pour le bois sec et 0,43 tep pour le bois déshydraté. Ces valeurs ne permettent donc d'évaluer que des ordres de grandeurs.

Pour le *lignite* et le *charbon bitumineux*, il s'agit de 0,35 tep et 0,65 tep en moyenne respectivement. Là aussi, il y a de grosses variations selon l'origine.

Une tonne de *biodiesel* vaut 0,9 tep et une tonne d'*éthanol* vaut 0,65 tep.

L'utilisation d'une tonne d'*uranium* naturel dans les réacteurs nucléaires actuels équivaut à 10 000 tep, et 60 fois plus dans les réacteurs surgénérateurs. Cette valeur est aussi un ordre de grandeur, car elle dépend assez largement du type de réacteur et des procédés mis en œuvre dans ce que l'on appelle le *cycle du combustible nucléaire*.

Unités anglo-saxonnes

Ces unités sont celles qui sont en usage dans les professions pétrolières, qui sont dominées de fait par la culture anglo-saxonne.

- Le *barrel (b)*, en français le *baril (b)* : unité de volume qui vaut 159 litres.
- La *British Thermal Unit (BTU)*, unité d'énergie qui vaut 1055,05 joules. 1 tep vaut approximativement 39,7 millions de BTU. On utilise aussi parfois, pour les très grandes quantités le *Quad*, qui vaut 1 million de milliards (en anglais, *1 quadrillion*) de BTU, soit 1,055 exajoule (EJ).
- Le *Trillion of Cubic Feet (TCF)*, unité de volume pour le gaz. 1 TCF vaut environ 28 milliards de m³ mesurés en conditions standard, soit l'équivalent en énergie contenue de 166 millions de barils ou encore 22,7 millions de tonnes de pétrole (tep).

- Le *barrel/day (b/d)*, en français le *baril /jour (b/j)* : unité de production de pétrole, 1 Mb/d représente une production d'environ 50 millions de tonnes par an.
- Le *dollar/million de BTU*, unité de prix du gaz. 1 \$/MBTU équivaut en moyenne à 39,7 \$/tep d'équivalent énergétique.
- Le *dollar/1000 m³*, unité de prix du gaz. 1 \$/1000 m³ équivaut en moyenne à 1,16 \$/tep d'équivalent énergétique.

Rappels

- Les abréviations des multiples par mille des unités sont :

k (kilo, 10³)

M (méga, 10⁶)

G (giga, 10⁹)

T (tétra, 10¹²)

P (péta, 10¹⁵)

E (exa, 10¹⁸)

Exemples :

1 ktep = 1000 tep (10³ tep)

1 Mtep = un million de tep (10⁶ tep)

1 Gtep = un milliard de tep (10⁹ tep)

1 kWh = 1000 Wh

1 MWh = 1 million de wattheures

1 GWh = 1 milliard de wattheures

1 TWh = 1 milliard de kilowattheures...

- Énergie de combustion du carbone pur (sous forme de graphite) : 393 kJ par atome-gramme (12 g) soit 32,8 MJ par kilogramme.
- Énergie de combustion de l'hydrogène (sous forme de gaz) : 286 kJ par mole (2 g) soit 143 MJ par kilogramme. (Dans les conditions standard et l'eau étant produite sous forme de gaz.)

Note : pouvoir calorifique des combustibles

La combustion par l'oxygène de l'air des combustibles contenant de l'hydrogène – ce qui est le cas de tous les *combustibles carbonés* courants, combustibles fossiles et biomasse – produit de l'eau qui, en se vaporisant, emmène sa chaleur de vaporisation. C'est pourquoi l'on distingue pour un combustible carboné son *pouvoir calorifique inférieur (PCI)*, pour lequel cette chaleur est supposée n'être pas récupérée, et son *pouvoir calorifique supérieur (PCS)*, qui inclut cette chaleur de vaporisation. Cette dernière est par exemple récupérée dans ce que l'on appelle les chaudières à condensation.

Sommaire

Avant-propos	7
Unités et équivalences énergétiques utilisées	9
Introduction	15
PREMIÈRE PARTIE Le pétrole : pourquoi la crise ?	17
Le pétrole, qu'est-ce que c'est ?	19
Le pétrole, de quoi est-il fait ?	19
Où trouve-t-on le pétrole ?	26
Comment se forme le pétrole ?	35
Comment trouve-t-on le pétrole ?	45
Le pétrole, qu'en fait-on ?	48
Le pétrole est-il dangereux ?	51
Pourquoi la crise ?	57
Le pétrole et le gaz, qui les produit et qui les consomme ?	57
Comment les prix du pétrole sont-ils établis et pourquoi varient-ils autant ?	62
Que sait-on des réserves de pétrole et de gaz ?	73
Vers le troisième choc pétrolier ?	90
DEUXIÈME PARTIE La crise du pétrole : qu'y pouvons-nous ?	105
Que peut-on faire pour les transports ?	107
Qu'attendre des économies de carburants ?	111
Qu'attendre des carburants alternatifs ?	116
Qu'attendre des véhicules alternatifs ?	159
Que conclure pour les transports ?	169

Que peut-on faire pour le secteur résidentiel et le secteur tertiaire ?	177
Qu'attendre des nouveaux modes de construction ?	181
Qu'attendre des moyens de produire de la chaleur autres que le fuel et le gaz ?.....	187
Que conclure pour le secteur résidentiel et le secteur tertiaire ?	258
Conclusion	260
Lectures d'approfondissement	273
Index.....	277

Introduction

Le pétrole représente aujourd'hui 38 % de l'énergie primaire utilisée dans le monde, et son cousin le gaz naturel 22 %. C'est la disponibilité d'énergie sous forme d'un pétrole peu coûteux qui, en permettant un accroissement sans précédent des richesses matérielles à se partager, fut pour une large part à la source du développement économique, mais aussi des avancées sociales, que les pays industriels ont connu après la Seconde Guerre mondiale. Les citoyens de ces pays en ont pris tellement l'habitude qu'ils ne réalisent pas ce qu'ils lui doivent, et mesurent très mal l'importance des effets qu'aurait sur leur vie quotidienne un manque de pétrole. Au contraire, dans une attitude que l'on pourrait qualifier de freudienne, beaucoup n'ont pas de mots assez durs pour qualifier les compagnies pétrolières, qui pourtant les ont jusqu'à présent fidèlement approvisionnés.

Mais le prix du pétrole vient de flamber, la pénurie est annoncée, et l'inquiétude pour l'avenir s'installe. En France comme dans bien d'autres pays très consommateurs, les conséquences économiques de l'augmentation brutale de son prix ont été très visibles : retour de l'inflation, déséquilibre de la balance commerciale, difficultés accrues pour les personnes ayant de faibles revenus, mais aussi pour les professions très consommatrices et les personnes habitant loin de leur lieu de travail et des services indispensables. Et si la crise économique en cours permet de faire une pause, ce n'est vraisemblablement qu'un recul provisoire !

Pourquoi cette crise pétrolière et comment peut-on y faire face ? Cet ouvrage se propose de l'expliquer à ceux dont le pétrole n'est pas un sujet familier d'étude.

La première partie de cet ouvrage décrit tout d'abord ce qu'est le pétrole, quelle est sa composition et comment il se forme. On y étudie également ses relations avec son cousin, le gaz naturel. Car c'est des modes de gisement et des propriétés du pétrole et du gaz que dépend tout le reste : ressources, utilisations, possibilités de remplacement. On y analyse ensuite les principaux

éléments de la crise en cours, en montrant comment la soif de pétrole des « pays émergents », mais aussi des grands pays producteurs, les limites physiques des possibilités de production, mais également la difficulté qu'auront les consommateurs des pays industrialisés à modifier leur mode de vie, risquent d'entraîner d'ici peu, si nous ne réagissons pas, un troisième choc pétrolier, plus important et beaucoup plus durable que les chocs précédents de 1973 et 1979.

La deuxième partie détaille les moyens qui peuvent être mis en œuvre pour remédier à cette crise et évalue leurs chances de succès. L'accent est mis sur les transports et l'habitat. En effet, ces deux secteurs économiques sont responsables de l'essentiel de notre consommation actuelle de pétrole et de gaz. Mais ce sont aussi les secteurs où la responsabilité personnelle de chacun d'entre nous est la plus engagée, et pour lesquels la volonté personnelle des consommateurs-citoyens que nous sommes permettrait de diminuer le plus notre consommation.

Cette crise va être profonde et cela d'autant plus que s'y ajoute le lancinant problème du réchauffement climatique. Il faudra beaucoup d'imagination créative pour la résoudre. Son issue dépendra pour beaucoup des capacités d'adaptation des consommateurs des pays riches, et dans un premier temps de la modération dont ils accepteront de faire preuve pour laisser le temps nécessaire à la mise en place de technologies alternatives, mais aussi de nouveaux modes de vie, plus sobres en énergie et plus respectueux de notre planète.

La grande difficulté sera d'adapter suffisamment vite notre rythme de consommation aux rythmes possibles de la production du pétrole et de ses éventuels substituts. Notre pays, comme bien d'autres pays industriels, va avoir de grandes difficultés à s'adapter. Mais sa situation n'est pas la plus mauvaise, essentiellement parce qu'une bonne partie de son approvisionnement énergétique est d'origine nucléaire et ne dépend donc pas du pétrole et du gaz. Peut-être, en effet, nous sera-t-il possible d'utiliser un jour beaucoup plus largement l'électricité nucléaire dans les transports, secteur économique qui aura le plus à souffrir d'une crise pétrolière.

PREMIÈRE PARTIE

Le pétrole : pourquoi la crise ?

1. Le pétrole, de quoi est-il fait ?

Le *pétrole* extrait des *gisements de pétrole* est appelé par les professionnels *huile*, *pétrole brut* ou plus familièrement *brut* (*oil*, *crude oil* ou *crude* en anglais, la langue des pétroliers).

Le pétrole brut a une composition qui peut varier largement d'un gisement à l'autre, et aussi à l'intérieur d'un même gisement, même si l'on y retrouve toujours les mêmes familles de constituants. En ce sens on peut dire qu'il n'y a pas un, mais des pétroles : les pétroles les plus courants sont des liquides de consistance huileuse, moins denses que l'eau, parfois limpides mais le plus souvent de couleur brun clair ou rougeâtre à brun foncé ou noir. Leur viscosité varie à peu près de celle de l'eau à celle du miel liquide. Leur densité varie de 0,6 à 0,9.

Le cousin du pétrole brut est le gaz naturel. Celui-ci a dans la plupart des cas (on verra plus loin les exceptions) la même origine que lui. Dans les conditions du sous-sol, il se présente le plus souvent non pas à l'état gazeux, mais dissous dans le pétrole, ou sous forme d'une phase comprimée aux propriétés physiques d'un liquide, dont la densité varie de 0,2 à 0,4 environ selon sa composition.

Certaines variétés de pétrole, les *huiles extralourdes* et les *asphaltes* (appelés aussi *bitumes*) sont à température ordinaire des liquides très visqueux. Leur viscosité, qui varie à peu près entre celle du miel liquide et celle du miel solide, diminue rapidement avec la température. Certains asphaltes sont même des solides cassants de couleur noire, dont la densité peut arriver à dépasser 1. Ces pétroles font partie de ce que l'on appelle les *pétroles non-conventionnels*, ou encore *pétroles non-classiques*, par opposition aux précédents. Cette appellation provient de ce qu'il faut pour les extraire des techniques plus complexes que pour les *pétroles conventionnels* (*classiques*). Mais avec l'évolution des technologies, la frontière entre les deux devient de plus en plus artificielle. La véritable frontière se situe maintenant entre les gisements dont on ne peut extraire le pétrole que par forage et ceux qui peuvent être exploités en carrières. Ces derniers sont les gisements de bitumes, ou les parties de ces gisements,

- Pluies acides 49
 Pointe 207
 Polymere electrolyte membrane fuel cell 164
 Pompe à chaleur (PAC) 198
 Ponts thermiques 184
 Porphyrines 22, 41, 53
 Pouvoir calorifique inférieur (PCI) 12, 134
 Pouvoir calorifique supérieur 12
 Ppm (partie pour million) 24
 Prestige 51
 PRG à 100 ans 223
 Procédé allothermique 142
 Procédé autothermique 142
 Procédé Bergius 123
 Procédé Fischer-Tropsch 119
 Procédés XTL 91, 150
 Productible d'électricité 223, 237
 Production fatale 210, 213, 221
 Produit Intérieur Brut (PIB) 69, 271
 Programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (PPI) 234
 Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT) 203
 Propane 24, 29, 48, 116
 Propylène 116
 Puits canadien 183
 Puits provençal 183
 Pyrobitume 40
- Q**
- Quadrillion 10
 Quantités de pétrole en place 73, 76
- R**
- Raffinage 45, 48
 Réacteurs graphite-gaz 148
 Réacteurs nucléaires à très haute température 148
 Récupérateurs d'énergie de freinage 112
 Réformage à la vapeur 119, 145
 Réglementations thermiques (RT) 202
 Repsol 68
 Réseau Nordel 215
 Réseaux intelligents 229
 Réserve tournante 213
 Réserves 1P 76
 Réserves 2P 76
 Réserves 3P 76
 Réserves à découvrir 76
 Réserves de pétrole 73
 Réserves initiales 76
 Réserves prouvées 76
 Réservoirs 26
 Résidus de raffinage 49
 Résines 22
 Ressources de pétrole 73
 Roche-mère 38
 Roches réservoirs 26
 Roches sédimentaires 26
 Royal Dutch Shell 46, 68
- S**
- Sables asphaltiques 32
 Saccharose 132
 Saumure 40
 Schémas de cohérences territoriaux (SCOT) 258
 Schistes bitumineux 42
 Security and Exchange Commission (SEC) 79
 Sédiments argileux 35
 Sédiments marneux 35
 Sel 29
 Semi-base 207
 Série sédimentaire 27
 Shale oil 44
 Silice 230
 Silicium 230

- Silicon Valley Toxic Coalition 231
 Silurien 39
 Sinning reserve 213
 Smart grids 229
 Soja 129
 Sonatrach 68
 Sorgho 141
 Squeeze 174
 Start-go 265
 Start-Stop 112
 Stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) 211
 Statoil-Hydro 68
 Stockages d'électricité par air comprimé 227
 Structures anticlinales 47
 Suies (particules) 112
 Suivi de charge 210
 Swing producers 67
 Switch grass (panic érigé) 140
 Syndrome de Robinson Crusoe 225
 Synfuels 119
 Synthèse Fischer-Tropsch 119, 123
 Système solaire combiné (SSC) 196
 Systèmes électromagnétiques de commande des soupapes 112
- T**
- Taillis à pousse rapide 140
 Tar sands 32
 Taux de pénétration 220, 237
 Taux de récupération 74, 77
 Temps de retour sur investissement 197, 224
 Tertiaire 39
 Toluène 51
 Tonne-équivalent-pétrole (tep) 9, 63
 Total 46, 68
 Tournesol 129
 Toward a just and sustainable solar industry 231
 Transport 45
- Trias 39
 Trillion of Cubic Feet (TCF) 10, 63
 Turbinage 211
 Turbines à combustion (TAC) 208, 212
 Turbines Francis 209
 Turbines Kaplan 209
 Turbines Pelton 209
- U**
- Union pour la coordination du transport d'électricité (UCTE) 215
 Uranium 10
 Uranium appauvri 168, 266
 Urbanisme 268
- V**
- Vanadium 22, 53
 Végétaux inférieurs 35
 Végétaux supérieurs 35
 Véhicules électriques 263
 Véhicules hybrides 112
 Véhicules hybrides rechargeables (VHR) 167, 170, 263
 Ventilation mécanique contrôlée (VMC) 183, 187
 Very high temperature reactors (VHTR) 148
 Vitrages à isolation renforcée (VIR) 185
- W**
- Watt 9
 Wattheure 9
 West Texas Intermédiate (WTI) 64
- Z**
- Zones de développement de l'éolien (ZDE) 254