Sous la direction de
Jean-Pierre Favennec
et Yves Mathieu

ATLAS MONDIAL DES ÉNERGIES

Ressources, consommation et scénarios d'avenir

ARMAND COLIN ATLAS

Ouvrage conçu et rédigé par
Jean-Pierre Favennec, professeur IFP School
Yves Mathieu, expert géologue
avec la collaboration d'**Alexandre Rojey**, Fondation Tuck,
de **Jean-Paul Lehmann**, expert nucléaire,
de **Jean-Marc Jancovici**, Manicore

Retrouvez des cartes complémentaires et inédites sur notre site Internet

www.armand-colin.fr

Maquette de couverture : Atelier Didier Thimonier
Maquette intérieure et composition : Yves Tremblay
Cartographie : Thomas Derambure

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

DANGER
LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

© Armand Colin, 2014
Armand Colin est une marque de
Dunod Editeur, 5, rue Laromiguière, 75005 Paris

ISBN : 978-2-200-25754-5

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), 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 ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Sommaire

Introduction

Tous des énergivores 220 milliards de joules, et moi et moi et moi… 5

Première partie
L'avènement d'une civilisation de l'or noir 7

Des civilisations antiques au XVIIIe siècle 8

Essor de l'exploitation et de la consommation au cours du XIXe siècle et jusqu'en 1914 10

Évolution des consommations énergétiques depuis 1914 12

État des lieux de la consommation 14

Utilisation des sources d'énergie 16

Hydrocarbures non conventionnels ou conventionnels ? Grands regroupements des pays dans le secteur de l'énergie 18

Deuxième partie
État des réserves et des ressources 21

Ce qu'il vaut mieux savoir sur les réserves et ressources 22

Les réserves courantes et futures en pétrole conventionnel et en liquides de gaz naturel 24

Les réserves et ressources en pétroles « non conventionnels » et en pétroles extractibles totales 26

La production et la consommation en pétrole et liquides de gaz naturel 28

Les réserves en gaz conventionnel 30

Les réserves et ressources en gaz « non conventionnels » et en gaz extractibles total 32

Production et consommation de gaz 34

Les réserves et ressources en charbons 36

La production et la consommation de charbons 38

Les réserves courantes et possibles en hydrocarbures et charbons 40

Les émissions de gaz carboniques par les hydrocarbures et les charbons 42

Les ressources en uranium 44

Production et consommation d'uranium 46

L'hydraulique 48

La géothermie 50

Énergie du vent 52

Le solaire 54

Les énergies marines 56

La biomasse hors alimentaire et les déchets 58

Les productions attendues jusqu'en 2050 60

Troisième partie
L'économie et le prix de l'énergie 63

L'indispensable énergie 64

Le pétrole est liquide 66

L'exploration production du pétrole et du gaz : des coûts croissants 68

Le gaz naturel : une énergie propre, facteur clé de la transition énergétique ? 70

Le charbon, énergie du passé, énergie de l'avenir 72

Électricité : une énergie vitale qui dépend largement des fossiles 74

Le rôle crucial de la logistique et du transport 76

Les marchés du pétrole : évolution historique 78

Les marchés du pétrole : les marchés financiers 80

Les marchés du gaz 82

Le prix du pétrole – Les facteurs explicatifs – La spéculation 84

Le raffinage du pétrole 86

La pétrochimie et les utilisations non-énergétiques du pétrole 88

Les grandes compagnies pétrolières et gazières 90

Les prix des carburants : un paramètre clé de l'économie 92

Les revenus pétroliers 94

Quatrième partie
Les géopolitiques régionales 97

La géopolitique de l'énergie 98

Le Moyen-Orient, réservoir de pétrole du monde 100

Le Moyen-Orient, une zone de conflits ? 102

L'Asie, une énorme consommation potentielle de pétrole et de gaz 104

La Chine et sa stratégie de puissance au cœur de l'Asie 106
Puissance nord-américaine et énergie 108
Le pétrole et le gaz non conventionnels en Amérique du Nord 110
Amérique du Sud : deux géants énergétiques, le Venezuela et le Brésil 112
L'Europe et le développement des renouvelables 114
L'approvisionnement en gaz de l'Europe - Les relations avec la Russie et la CEI 116
Un renouveau russe fondé sur les hydrocarbures ? La politique de Vladimir Poutine 118
La CEI entre l'Europe et l'Asie 120
L'Afrique : vers où rediriger les flux de pétrole ? 122
Le gaz naturel : l'Asie au cœur des nouveaux flux 124
L'utilisation des ressources en hydrocarbures dans les stratégies des émirats 126

Conclusion
Les défis mondiaux 129

Les prévisions de demande d'énergie 130
La transition énergétique : défis et contraintes 132
La transition énergétique : Les moyens d'action 134
Changer les modes de vie 136

Bibliographie 139
Les auteurs 141
Acronymes utilisés 142
Unités et facteurs de conversion 143

Introduction

Tous des énergivores 220 milliards de joules, et moi et moi...

Jean-Marc Jancovici

220 milliards de joules, soit environ 60 000 kWh[1], c'est désormais l'énergie que chaque Français consomme, en moyenne bien sûr, en une année. Nous ne réalisons pas à quel point cette valeur est proprement faramineuse. En comparaison, notre organisme, à raison de 2000 calories par jour (l'énergie est contenue dans les aliments), absorbe environ 850 kWh par an, soit 60 fois moins. Et surtout, notre organisme ne sait restituer qu'une petite fraction de cette énergie sous forme mécanique : de 5 à 100 fois moins, selon l'âge et la forme physique.

Dit autrement, entre l'effort accompli quotidiennement par toutes les machines, qui permettent notre « mode de vie » et assurent notre confort matériel – de la presse à emboutissage à l'ascenseur, des plaques à induction à la scieuse à bois, du bulldozer à la lampe, du relais téléphonique à la chaudière, du camion à la ligne d'assemblage –, et ce que nos propres muscles sont capables de fournir quand ils sont en bon état, nous allons trouver un facteur 300 à 5 000. Un moteur de voiture de 100 chevaux fournit, à pleine puissance, le même effort de traction que 1 000 paires de jambes !

Or, selon les lois de la physique, l'énergie ce n'est rien d'autre que la marque du changement d'état du monde. L'énergie se manifeste quand il y a une modification de température, de vitesse, de forme, de composition chimique ou atomique, bref quand l'état initial et l'état final sont différents. Utiliser de l'énergie ou transformer l'environnement, c'est donc, par définition même, la même chose.

Pétrole, gaz, charbon et, dans une moindre mesure, bois, hydroélectricité et autres énergies renouvelables ont donc permis à chaque Français de démultiplier par 500, en ordre de grandeur, sa capacité à transformer l'environnement. Cela signifie, au choix, multiplier par 500 les flux de matière disponibles pour en faire des logements, des usines, des routes et des machines de toute sorte, ou encore multiplier par 500 – parfois par bien plus – la vitesse d'exécution ou la puissance des machines une fois construites (essayez de mettre en mouvement un laminoir ou un avion de ligne juste en demandant à des hommes de pédaler !), ou par ce même multiple la chaleur emmagasinée par une habitation ou un matériau travaillé en usine.

À l'inverse, imaginons un instant que notre monde soit soudainement privé de produits pétroliers, d'électricité (ce qui revient à supprimer charbon, gaz, uranium et chutes d'eau) et de gaz. Nous pourrions alors avoir un nombre sans limites de machines déjà construites, elles deviendraient incapables de fournir le moindre travail. C'en serait fini de la fabrication de la quasi-totalité des produits manufacturés, du téléphone, des transports (donc de la fourniture aux villes de tout ce qui y est consommé, nourriture comprise), des hôpitaux, des banques (car sans ordinateur les banques modernes font toutes faillites dans la minute), de toute activité dès qu'il fait nuit (car fin de l'éclairage), de la chaîne du froid (et donc fin de la conservation des aliments sur une longue période), etc. Plus rien ne pourrait fonctionner comme avant. Et ce serait aussi, bien entendu, la fin des moyens d'action de la police et de l'armée pour empêcher les émeutes qui se déclencheraient un peu partout (car il n'y aurait plus de véhicules pour transporter les forces de l'ordre). Bref, sans énergie, le monde moderne serait en proie au chaos.

L'énergie est donc le pilier de notre civilisation matérielle, et pourtant, la connaissance de son rôle échappe à la majorité de nos concitoyens. Pourquoi ? Parce que dans les discours relayés par les médias, notre abondance est généralement attribuée, au choix, au génie humain (ce sont les inventions qui ont changé notre vie), ou aux mesures économiques (en favorisant « l'activité », on favorise l'abondance). Mais on pourrait bien exhorter tout le monde à se creuser la cervelle et injecter des milliards dans l'économie, jamais nous

1. NB : Ces 220 GJ ou 60 000 kWh correspondent à environ 5 tonnes équivalent pétrole (5 tep) mais seulement à 4,2 tep pour ce qui est des autoconsommations en énergie (plastiques, peintures, fibres synthétiques…, et exportation de produits finis étant exclus).

ne pourrions arriver au même niveau de consommation sans stocks de combustibles fossiles ! Une machine sans énergie n'a plus d'intérêt, et, mieux encore, sans les machines qui travaillent à notre place, jamais nous n'aurions eu le temps nécessaire pour étudier, mettre au point, et diffuser aussi massivement les trouvailles dont nous profitons.

Cette abondance énergétique se heurte désormais à deux limites physiques, qui déboucheront de plus en plus sur des évolutions économiques en apparence incompréhensibles. Rappelons, pour le comprendre, la place de l'énergie dans la création des flux physiques, dont la valeur monétaire compose le PIB.

La première tient au fait que l'extraction, au cours du temps, de tout stock donné ne peut que croître, passer par un maximum puis décroître. Cette loi mathématique condamne l'extraction annuelle de pétrole, de gaz et de charbon à plafonner un jour, avant de diminuer inexorablement. Toute la question étant d'évaluer les horizons de temps et le niveau de la production au maximum, et après.

La deuxième limite tient au fait que le sous-produit de l'utilisation de ces combustibles, à savoir le dioxyde de carbone, est désormais émis en telles quantités vers l'atmosphère qu'il conduira à une perturbation d'ampleur du climat planétaire, avec un décalage de quelques décennies à quelques millénaires entre le maximum des émissions et le maximum des conséquences.

Mieux comprendre l'énergie est donc devenu impératif pour toute personne souhaitant réfléchir à l'avenir, même si ce domaine paraît difficile d'accès.

Espérons que cet Atlas, en faisant le point sur les réserves et les ressources en énergie, leurs coûts et les problèmes politico-économiques actuels et futurs y contribuera !

Première partie

L'avènement d'une civilisation de l'or noir

Des civilisations antiques au XVIIIe siècle

Pétrole, gaz naturel et charbons : une histoire ancienne. C'est à partir des suintements naturels d'hydrocarbures et des affleurements de charbons que débute l'exploitation de ces produits dès l'Antiquité, puis leur exploration moderne au cours du XIXe et au début du XXe siècle. Utilisés comme combustibles, matériaux et médicaments leur production s'étend rapidement.

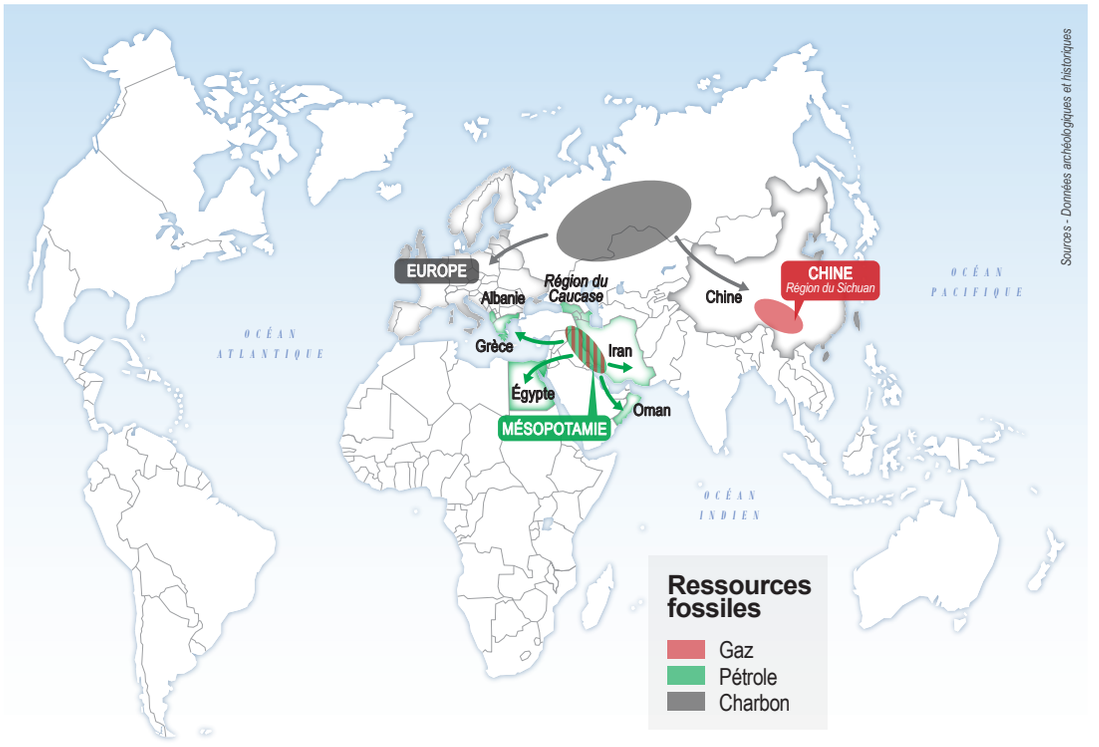
Des civilisations antiques à l'Empire romain

Vers 3 000 ans avant notre ère, la sédentarisation prenant le pas sur la nomadisation, les hommes ont cherché à utiliser localement de nouvelles ressources naturelles. Les hydrocarbures et le charbon à l'affleurement ont rapidement été utilisés par ces hommes avides de la moindre ressource. Les témoignages issus des découvertes archéologiques et des premiers écrits permettent de retracer sommairement les premières exploitations.

Le charbon a vraisemblablement été le premier à être utilisé, là où il affleurait en surface. On peut penser que dès l'âge du bronze il fut exploité en Europe et en Chine pour fondre les minerais. Les témoignages écrits ne nous sont parvenus qu'avec l'occupation romaine de l'Angleterre, où le charbon était présent en de multiples endroits. Le charbon y était utilisé comme combustible pour le traitement des minerais et la fabrication des outils et des armes. Les romains vont alors étendre ces utilisations partout où cela était possible dans leur empire.

Pour le pétrole et le gaz naturel, c'est en Mésopotamie que tout semble avoir débuté, puis en Chine. Plus de 1 000 ans avant notre ère, en Mésopotamie, le bitume était récolté en surface dans les monts Zagros près de l'antique Babylone, avant de l'être dans une bonne partie du Moyen-Orient et dans les contrées avoisinantes. Le bitume constituait un produit très recherché comme matériau de construction et d'étanchéisation, comme pharmacopée, comme source de croyance, comme moyen de chauffage et d'éclairage mais aussi comme matériel militaire. Ces nombreuses utilisations firent très vite l'objet de commerce, voire de cadeaux, à l'instar du pétrole récolté en mer Morte offert par Marc Antoine à Cléopâtre. Les nombreuses fioles de la pharmacopée antique, retrouvées dans tout l'Empire romain, en sont les témoins.

En Chine, deux ou trois siècles avant notre ère, les Chinois découvrent et utilisent un gaz inflammable en exploitant le sel du Se-Tchouan. Ultérieurement, en Amérique, les témoignages des conquistadors mentionnent l'utilisation par les populations locales du bitume suintant dans la région du lac Maracaibo (actuel Venezuela).



Les premières utilisations connues

De l'Empire romain au XVIIIe siècle

Les nombreuses utilisations de ces produits ont traversé les siècles grâce aux échanges, voyages et écrits, mais leurs exploitations et utilisations sont restées artisanales et pratiquement locales.

Le charbon fut de plus en plus utilisé dans la plupart des pays européens mais aussi en Asie et aux Amériques, là où il affleurait. Dès la fin du Moyen Âge, en Angleterre, l'usage domestique du charbon se répand, ce qui permettait aussi d'épargner les surfaces boisées. On y distinguait alors le *sea coal*, ramassé le long des cotes,

Le pétrole :
un médicament universel

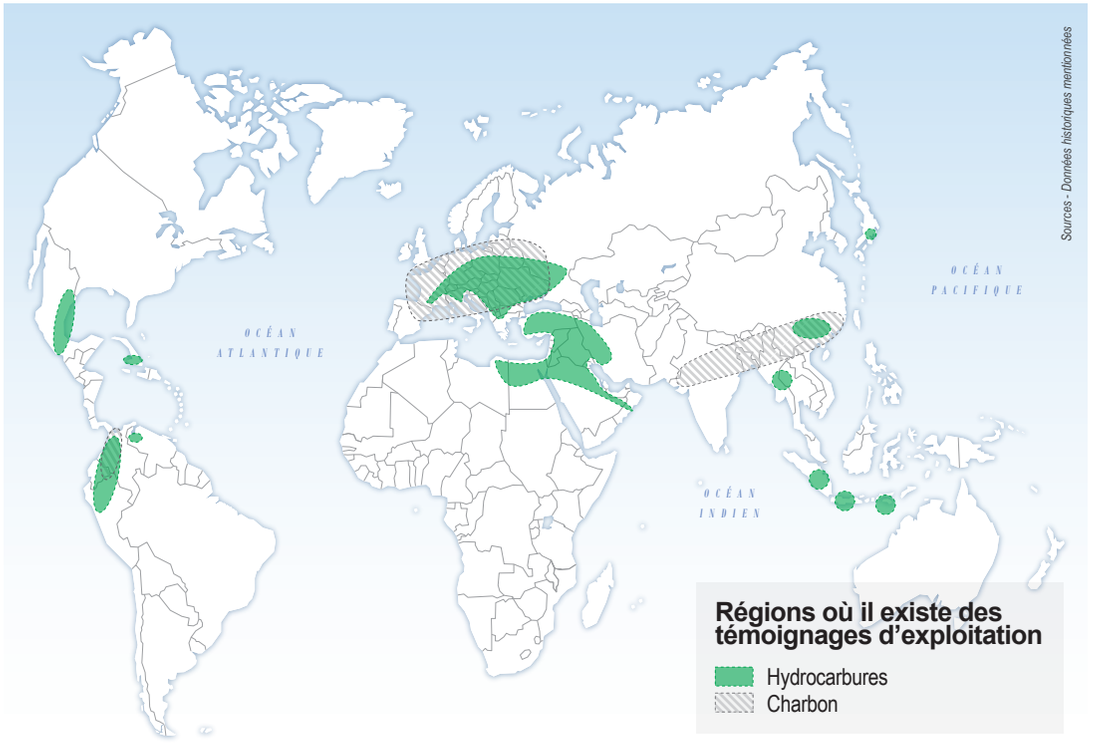
du *peat coal*, issus des carrières et des mines. Partout ailleurs, il était essentiellement utilisé dans le traitement des minerais et dans les petites forges.

Le pétrole est resté principalement utilisé dans le domaine de la pharmacologie. Au Moyen Âge, de nombreuses sources évoquent les « fontaines de poix », correspondant aux « sources de pétrole et de bitumes ». On recueillait le pétrole pour ses vertus supposées curatives et les sources de poix étaient aussi renommées que nos actuelles stations thermales. En Bavière, en 1430, l'huile de saint Quirinus est l'une des premières mentionnées. La source de Sainte Catherine près de Modène en Italie, découverte en 1460, fournit une huile appelée dès cette époque Petroleon. Le « Font de l'Oli » exploité près de Béziers est une huile merveilleuse qui est vendue en flacons dans toute l'Europe sous le sceau de l'évêque de cette ville. Au Tyrol, il s'agit du « Sang de Thyrsus », en Roumanie, en Pologne et dans bien d'autres pays les sources de poix sont exploitées. En Alsace, l'huile de Pechelbronn est exploitée dès 1627. En Amérique, le pétrole était aussi utilisé pour se soigner.

Au Japon, dès le XVe siècle, le palais impérial est éclairé par le pétrole extrait de puits creusés manuellement. En Birmanie, il sert à l'éclairage et à la cuisson et il est déjà exporté vers l'Inde dès le XIIIe siècle. À Java, Sumatra et au Timor, il est exploité dès le XVIe siècle. Au Venezuela, les Indiens de la région de Maracaibo recueillaient le pétrole surnageant sur le lac pour s'éclairer mais aussi pour calfater leurs pirogues. Cette dernière utilisation sera reprise par les Conquistadors qui la ramèneront en Europe. Chez les Aztèques et les Incas, le bitume était également utilisé comme matériau et pharmacopée.

Véritable arme de guerre, la projection de pétrole enflammé s'est perfectionnée au cours du temps. Au VIIe siècle, les Byzantins améliorèrent le procédé en projetant des mélanges de bitume, de soufre et de salpêtre dans les batailles terrestres ou navales. Les Arabes, puis les croisés, héritèrent de ces procédés qu'ils utilisèrent à leur tour.

Le gaz naturel ne semble avoir été exploité qu'au Moyen-Orient et dans le Caucase pour le chauffage des thermes mais aussi comme source de culte, et en Chine pour le chauffage domestique, voire industriel (salines du Se-Tchouan).



Le charbon et les hydrocarbures de la chute de l'Empire romain au XIXe siècle

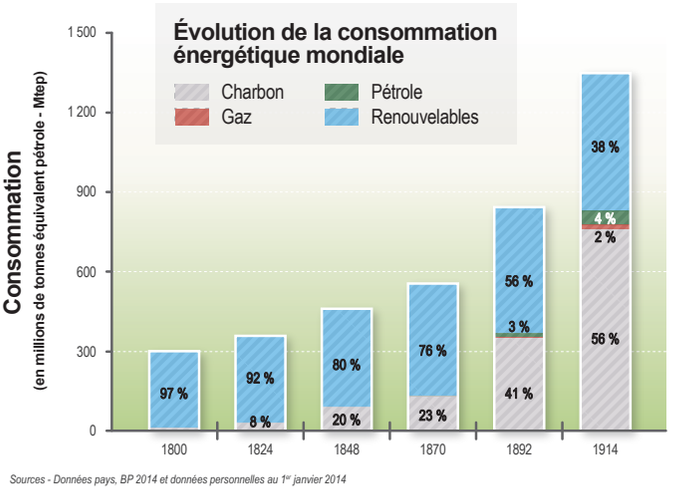
Essor de l'exploitation et de la consommation au cours du XIXe siècle et jusqu'en 1914

Naissance de l'industrie. Alors que la population mondiale va doubler entre 1800 et 1914, la consommation énergétique va plus que quadrupler dans un nombre limité de pays en raison des développements industriels et l'émergence de grands groupes industriels demandant de plus en plus d'énergies.

Malgré un quasi-doublement des énergies renouvelables, c'est surtout l'arrivée des sources d'énergies fossiles qui a permis de quadrupler la consommation énergétique mondiale. Le charbon a été le premier exploité massivement car les premières industries se sont installées sur les bassins charbonniers. Il représentait environ 3 % de la consommation énergétique mondiale en 1800, dépassait les 56 % à la veille de la Première Guerre mondiale. Le pétrole n'apparaît qu'au cours des années 1860 pour ne représenter que 4 % de la consommation mondiale en 1914. Durant cette période, les productions de gaz naturel restent confidentielles et elles sont pratiquement entièrement brûlées sous forme de torchères pour des raisons de sécurité. On constate cependant de premières utilisations pour l'éclairage urbain aux États-Unis dès 1821 à Freedonia où l'on exploitait les gaz de schistes. En 1914, la consommation mondiale de gaz naturel représentait 1,3 % de la consommation mondiale en énergie (20 milliards de mètres cubes dont 19 aux États-Unis).

La présence en surface de pétrole et de charbon a été le premier guide à leurs exploitations industrielles. Celles-ci ont débuté dans les pays européens et aux États-Unis pour s'étendre rapidement dans leurs colonies (Australie, Canada, Afrique du Sud, Indes, Myanmar, Indonésie…) puis vers l'Afrique du Nord, mais aussi dans des pays non colonisés d'Amérique latine. La plupart des pays d'Afrique et du Moyen-Orient n'ont cependant pas connu de développements industriels.

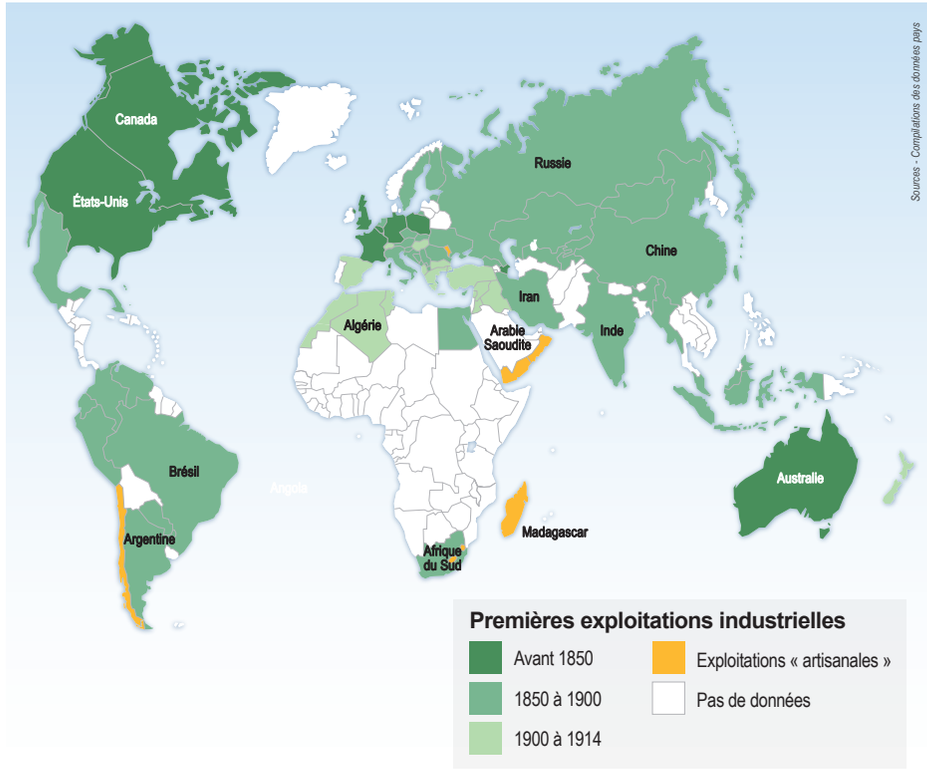
En France, si le charbon a été exploité dans le Nord, à Monteau-les-Mines, à Saint-Étienne et dans bien d'autres sites, l'exploitation des pétroles lourds et extra-lourds le fut en Alsace, les schistes bitumineux dans la région d'Autun et le gaz à Vaux-en-Bugey.



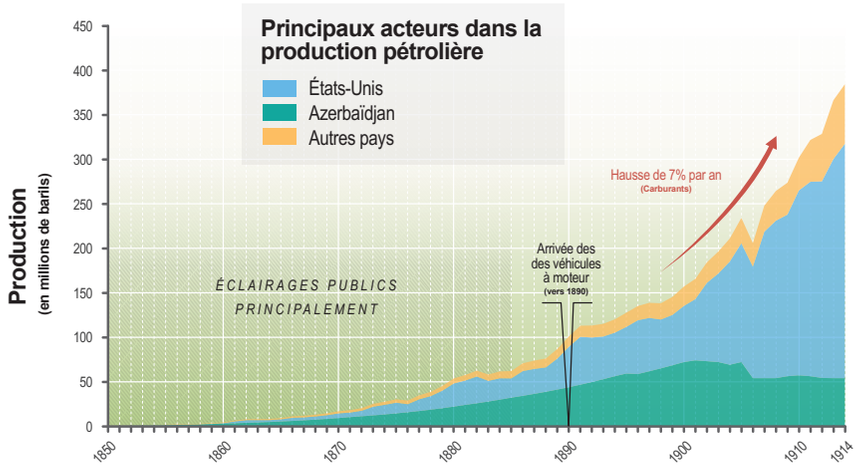
Sources - Données pays, BP 2014 et données personnelles au 1er janvier 2014

Évolution de la consommation énergétique mondiale

La production industrielle du charbon se généralise à la fin du XIXe siècle et, vers 1904, elle atteint les 925 millions de tonnes principalement en Europe (52 %) et en Amérique du



Essor de l'exploitation du charbon, du pétrole et du gaz



Production pétrolière mondiale de 1850 à 1914

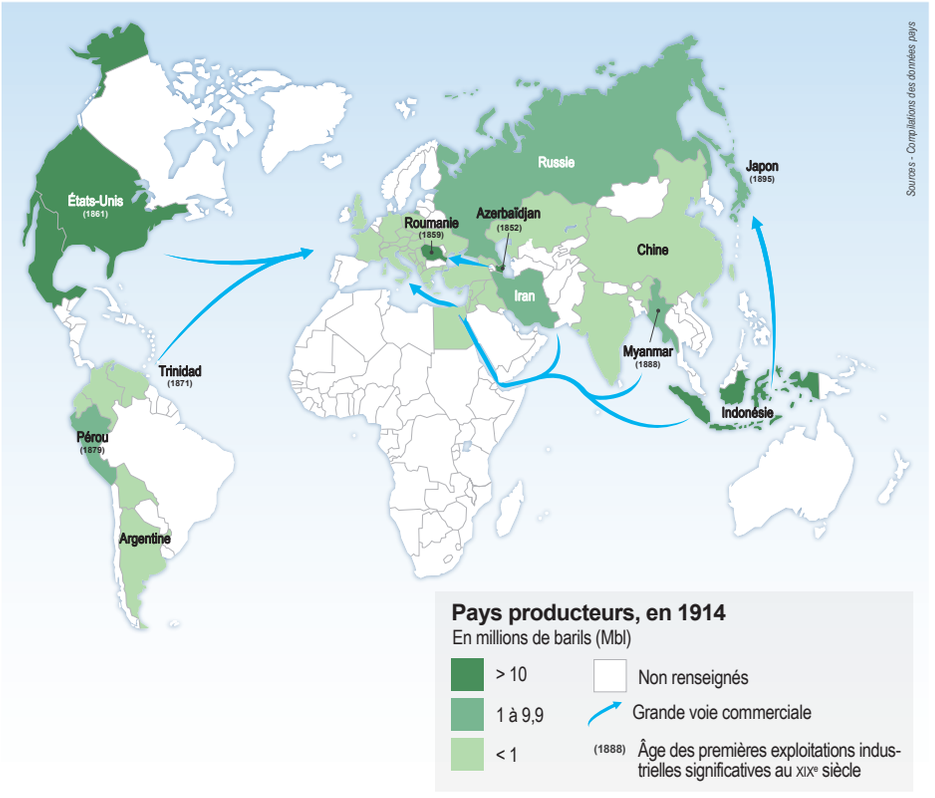
Nord (43 %). Si 25 pays produisaient du charbon, les productions sont concentrées à plus de 87 % dans seulement 4 pays avec une domination notoire des États-Unis (38 %), devant le Royaume-Uni (26 %), l'Allemagne (19 %) et la France (4 %). Alors que la Chine, l'Inde, la Russie et l'Afrique du Sud disposaient de réserves considérables, leurs exploitations sont restées confidentielles.

Pour le pétrole, l'exploitation industrielle a réellement débuté en Azerbaïdjan dès 1852, puis en Roumanie en 1859. Si le colonel Drake marque l'histoire par la réalisation du premier forage « moderne » en 1859, c'est en 1861 que la production industrielle américaine va prendre son essor. Ces pays seront rejoints au cours du XIXe siècle par Trinité-et-Tobago (1871), le Pérou (1879), le Myanmar (1888) et le Japon (1895).

Au début du XXe siècle, l'exploitation du pétrole va s'étendre dans de nombreux pays mais avec des productions locales limitées d'un point de vue mondial. Jusqu'en 1888, la moitié de la production mondiale est réalisée à Bakou en Azerbaïdjan, dont la quasi-totalité est exportée vers les pays européens. À partir de 1903, c'est plus de la moitié de la production de pétrole qui est réalisée aux États-Unis et les trois quarts en 1914. En Europe, on exploitait uniquement des pétroles non conventionnels : bitumes et schistes pétroliers. Produits en trop faibles quantités, ils ont nécessité un recours à l'importation.

Le développement des consommations en pétrole et en ses produits dérivés (carburants) des principales puissances européennes les ont amené à importer ce produit de toutes les régions du monde, excepté de l'Afrique.

À la veille de la Première Guerre mondiale, les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Allemagne et la France, totalisaient la moitié du commerce mondial en étant les quatre premiers producteurs et consommateurs mondiaux d'énergie fossile, alors qu'ils ne représentaient que 13 % de la population mondiale. L'émergence de grands groupes industriels (Standard Oil, Krupp, Thyssen, De Wendel, Schneider…), le développement de l'industrie (automobile, métallurgie, sidérurgie…), de la finance et de l'électricité dans ces quatre pays va les amener à dominer le monde.



Pays producteurs de pétrole et grandes voies commerciales en 1914