Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 78 (1987)

Heft: 2

Artikel: Tensions générales dans l'approvisionnement énergétique?

Autor: Baumberger, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903807

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

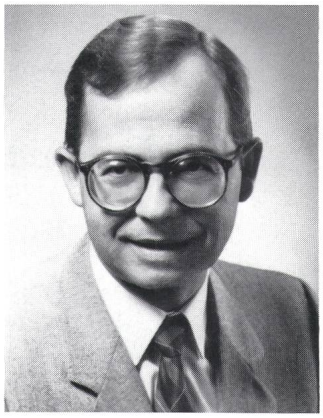
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Tensions générales dans l'approvisionnement énergétique?

H. Baumberger



Une étude reliant les prévisions de la consommation d'énergie et les réserves mondiales d'énergie a été présentée pour la première fois lors de la Conférence mondiale de l'énergie 1986. Malgré son horizon prévisionnel très lointain et les incertitudes qui s'y réfèrent, cette analyse donne d'intéressantes informations. Il semble, selon l'étude, que de sérieuses pénuries dans l'approvisionnement ne sont guère envisageables avant la fin du siècle – à moins que des événements politiques ou militaires ne provoquent des goulets d'étranglement. Des difficultés à propos de l'uranium et du pétrole sont toutefois déjà attendues autour de l'an 2010. Pour le gaz naturel, cette situation n'apparaîtra que vers l'an 2020. Dans ce cas, la contribution des énergies renouvelables représentera, avec 15–25%, un apport déjà substantiel.
Il est évident qu'un seul agent énergétique ne peut guère résoudre ces problèmes. Il est néanmoins possible de tirer la conclusion que l'utilisation économique et raisonnable de l'énergie est la bonne solution.

Adresse de l'auteur
Heinz Baumberger, directeur adjoint des Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse SA (NOK), 5401 Baden.

1. Introduction

La Conférence mondiale de l'Energie qui s'est tenue en octobre 1986 à Cannes s'est aussi occupée des perspectives de l'approvisionnement énergétique mondial. La «Commission de préservation», responsable du projet, a travaillé sous l'égide de Marcel Boiteux, président du Conseil d'administration d'Electricité de France, qui est aussi devenu le nouveau président de la Conférence mondiale de l'Energie. Pour la première fois, cette commission a utilisé une méthode qui établit une corrélation entre les pronostics de la demande énergétique et les réserves énergétiques mondiales.

On voulait ainsi notamment répondre à la question de savoir si l'offre excédentaire régnant actuellement sur les marchés de l'énergie n'était qu'un feu de paille ou si elle constituait un phénomène à long terme. Le rapport abondamment discuté porte le titre «Abondance énergétique – mythe ou réalité?»

2. Projection de la demande énergétique

Dans la première étape – la projection de la demande énergétique –, on n'a pas essayé de réinventer la roue. Vu le problème posé, on a reconnu que les prospectives établies pour la Conférence mondiale de l'Energie de New Delhi de 1983 ne s'étaient pas fondamentalement modifiées au cours des trois années écoulées. On s'est donc, de ce point de vue, limité aux données existantes. On avait ainsi l'avantage de pouvoir présenter le rapport actuel sur les mêmes bases qu'il y a trois ans.

Dans cet ordre d'idées, il faut se souvenir que les projections de la demande de New Delhi étaient bien inférieures aux précédentes. Lors de la Conférence mondiale de l'Energie d'Istanbul de 1977, on était parti d'un scénario optimiste conduisant à une demande énergétique mondiale de 44,5 milliards de TEP pour 2020. En 1980, à Munich, on pronostiquait encore 20,1 milliards de TEP et à New Delhi 18,5 milliards de TEP pour le scénario optimiste et 14,4 milliards de TEP pour le scénario à peu près plausible. Ces deux derniers scénarios constituent la base pour les nouvelles investigations.

Vu le fond du problème – la détermination de la période jusqu'à l'épuisement des ressources énergétiques –, il était cependant nécessaire de repousser l'horizon à très long terme, soit de

Tableau I
Population mondiale
(en milliards)

	1960	1980	2000	2020	2060
Nord	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7
Sud	2,0	3,2	4,7	6,2	8,0
Monde	3,0	4,4	6,1	7,8	9,7
Taux de croissance annuels moyens:					
Nord	1,0%		0,6%		0,2%
Sud	2,4%		1,7%		0,6%
Monde	2,0%		1,4%		0,5%

CME 1986

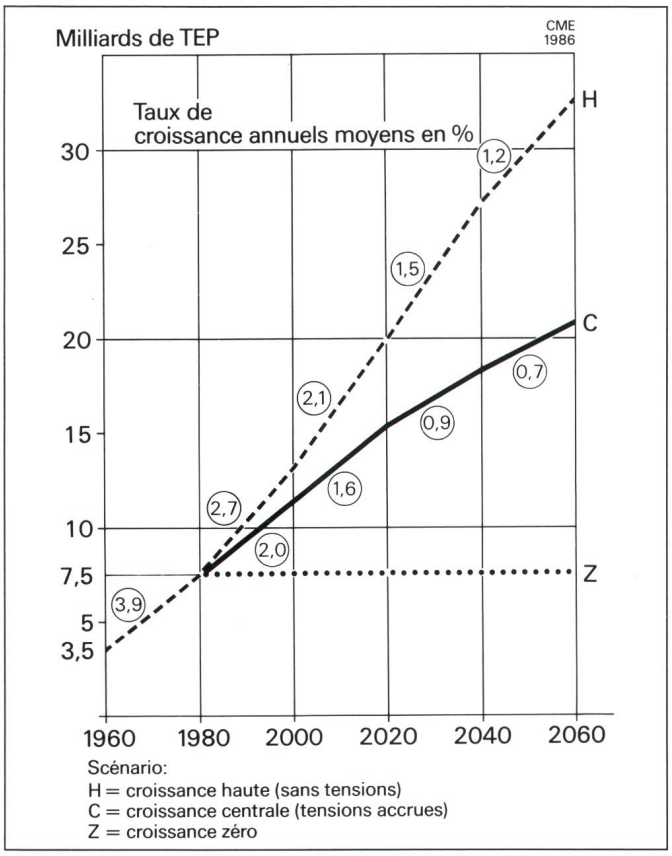


Figure 1
Projections de la consommation mondiale

2020 à 2060. En toute conscience des impondérabilités d'une étude à si long terme, cette manière d'aborder le problème fournit néanmoins d'intéressants résultats.

On est parti d'un développement démographique présentant une légère tendance à la baisse, tant pour les pays industrialisés (Nord) que pour les pays en développement (Sud). Comme le montre le tableau I, la population mondiale s'approchera en 2060 du seuil des 10 milliards, et 80% de l'humanité vivront dans les pays en développement, bien qu'une forte tendance à la baisse des taux de croissance se dessine.

Partant de ces prospectives démographiques et de considérations sur le développement économique, la demande énergétique mondiale a été présentée pour la conférence de New Delhi selon deux scénarios: le scénario H signifiant «développement normal sans tensions», qui doit être considéré comme variante optimiste, et le scénario C «tensions accrues», comme variante plus pessimiste, mais plus réaliste. Ces deux tendances ont été complétées par la variante Z «croissance zéro».

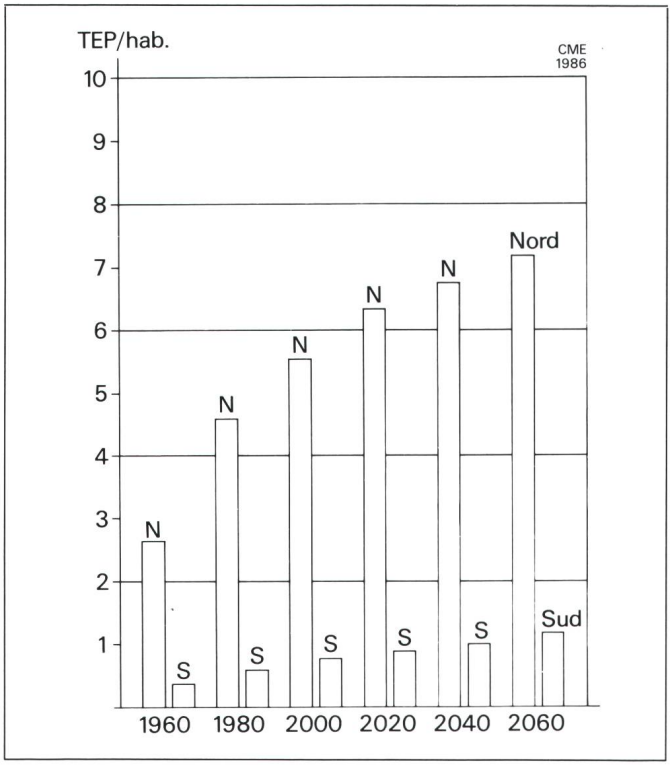
Le résultat, la demande énergétique mondiale, ressort de la figure 1. Malgré des taux de croissance nettement en baisse, la demande énergétique fera plus que quadrupler entre 1980 et 2060 selon le scénario H et triplera selon le scénario C. Cet accroissement considérable n'augmentera cependant que très peu la consommation par habitant. La figure 2 montre que, selon le scénario C, la consommation par habitant des pays industrialisés croîtra encore de 50% environ et celle des pays en développement de 80%. Comparé au développement enregistré dans le passé et aux besoins, le scénario C ne constitue qu'une perspective plutôt modeste, principalement pour la population des pays en développement.

3. Couverture des besoins et répartition entre les agents énergétiques

Concernant la couverture des besoins énergétiques totaux et sa répartition entre les agents énergétiques, on s'est également appuyé sur les résultats de New Delhi et contenté de les extrapoler jusqu'à l'horizon 2060. Cette manière de faire revêt un caractère hypothétique en ce sens que l'on veut justement déterminer l'époque à laquelle les ressources énergétiques seront éventuellement épuisées.

Le résultat de cette prospective est illustré par la figure 3 pour le scénario C. Elle représente la contribution d'un total de 7 sources d'énergie à l'approvisionnement, 3 sources renouvelables et 4 non-renouvelables, soit limitées. Pour les sources renouvelables, le problème de l'épuisement ne se pose naturellement pas. Leur part à l'approvi-

Figure 2
Consommation mondiale d'énergie par habitant; comparaison Nord-Sud
(Scénario C: tensions accrues)



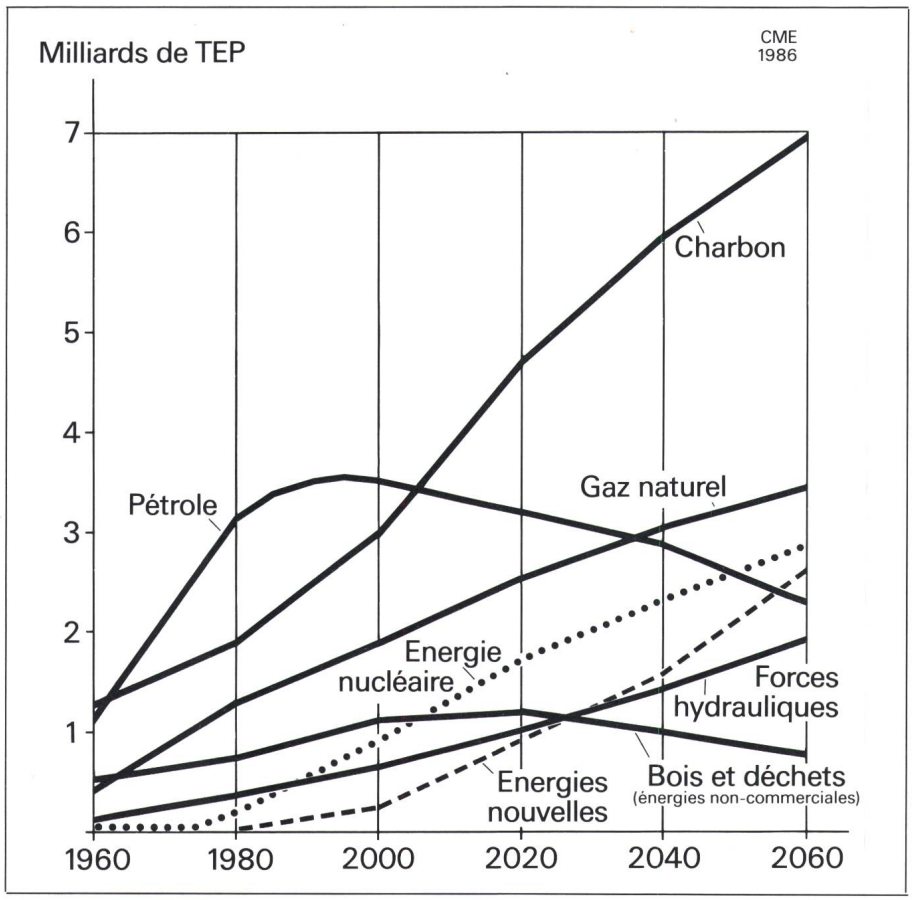


Figure 3 Consommation d'énergie par agents énergétiques
(Scénario C: tensions accrues)

sionnement total est estimée à 15% en 1980 et à 25% en 2060. La figure 3 révèle aussi de profonds décalages, les parts des différents agents énergétiques se modifiant pour le scénario C de la manière suivante:

(en %)	*1980*	*2020*	*2060*
Charbon	24,5	30,5	34
Pétrole	41	21	11
Gaz naturel	17,5	17	16
Uranium	2	11,5	14
Forces hydrauliques	5	7	9
Energies non-commerciales	10	7,5	4
Energies nouvelles	–	5,5	12

On se pose alors la question fondamentale déjà soulevée de savoir s'il est possible de satisfaire au modèle de développement ci-dessus avec les ressources énergétiques données par ailleurs.

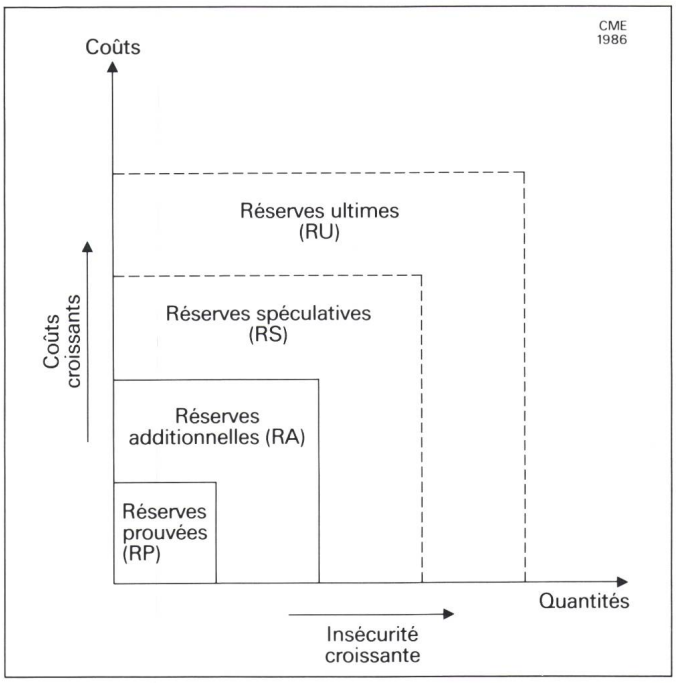
4. Réserves prouvées

L'attention se porte donc maintenant sur les agents énergétiques non-renouvelables: le charbon, le pétrole, le gaz naturel et l'uranium. Leur épuisement ne dépend en fait que de deux facteurs: de la consommation et de l'importance des réserves. Ce problème simple en soi cache des difficultés de trois sortes:

- Les projections de la demande sont naturellement très incertaines. A titre de modèle, on a simplement admis le développement résultant des considérations qui précèdent. Le considérer comme un pronostic ou une prévision serait fatal. Il peut cependant être qualifié de développement probable.
- La mécanique de l'épuisement de réserves données en fonction d'une consommation croissante est un phénomène pour lequel l'intuition humaine est peu préparée. On peut l'illustrer à l'aide d'un exemple simple. Admettons que l'on dispose de réserves de 1000 unités. Si l'on en utilise une par année, les réserves suffiront pour 1000 ans. Si, par contre, on augmente la consommation initiale d'une unité de 2% par an, la période jusqu'à l'épuisement des réserves se réduit considérablement. Au lieu de 1000 ans, les réserves ne suffisent plus que pour 153 ans. Avec un accroissement de 5%, il ne s'agit plus que de 80 ans et avec 10% plus que de 48 ans. On doit être conscient de ce phénomène lorsque, dans la suite, on comparera la demande cumulée aux réserves données.
- Il faut déterminer le volume des réserves énergétiques. Ce problème est traité ci-après.

Il faut tout d'abord se garder de l'idée qu'il existe pour un agent énergétique donné des réserves déterminées, calculables avec exactitude. Au

Figure 4
Classification des réserves énergétiques



CME 1986

	Réserves prouvées	Réserves additionnelles	Réserves spéculatives
Charbon	896	2699	–
Pétrole	110	340	179
– conventionnel	(97)	(36)	–
– non-conventionnel	(13)	(304)	(179)
Gaz naturel	74	156	–
Uranium (Réacteurs actuels)	26	32	105
Total monde	1106	3227	284

Tableau II Réserves mondiales d'énergies non-renouvelables
(en milliards de TEP)

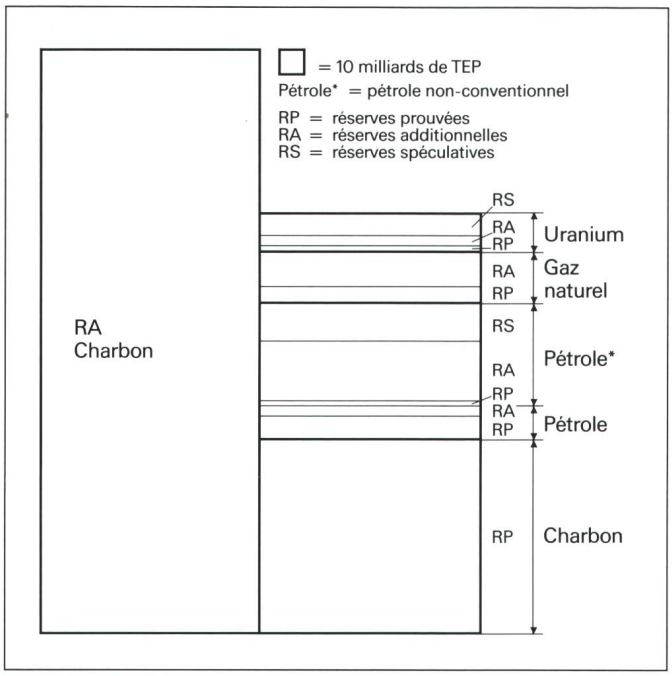


Figure 5 Répartition des réserves mondiales en énergies non-renouvelables

contraire, leur volume est une fonction d'une part du prix de l'exploration et de l'extraction, d'autre part de la probabilité de l'existence de telles réserves dans des couches terrestres non encore explorées. La figure 4 illustre ces relations. En abscisse, on trouve l'insécurité croissante et, en ordonnée, les coûts croissants d'extraction. Ce schéma conduit à une classification des réserves dans les catégories: réserves prouvées, réserves additionnelles, réserves spéculatives et réserves ultimes.

Les réserves prouvées sont mesurées et exploitables avec les moyens techniques actuels et aux conditions économiques du jour.

Dans la catégorie réserves additionnelles, il s'agit de réserves dont la probabilité d'existence est grande et qui peuvent être exploitées avec des moyens techniques prévisibles et dans certaines limites de coûts.

Les réserves spéculatives relèvent de certaines hypothèses probabilistes. Leur emplacement exact et leurs coûts d'extraction sont sujets à caution.

Les réserves ultimes sont encore plus incertaines et ne seront pas prises en considération dans la suite.

Le travail présenté ici a pris en compte l'enquête 1986 sur les ressources énergétiques, établie par la Conférence mondiale de l'Energie avec tout son savoir et toutes ses relations. L'estimation des ressources énergétiques mondiales est récapitulée dans le tableau II.

On remarque immédiatement le rôle important du charbon sur le plan mondial. Plus de 80% des réserves prouvées et additionnelles sont sous la forme de

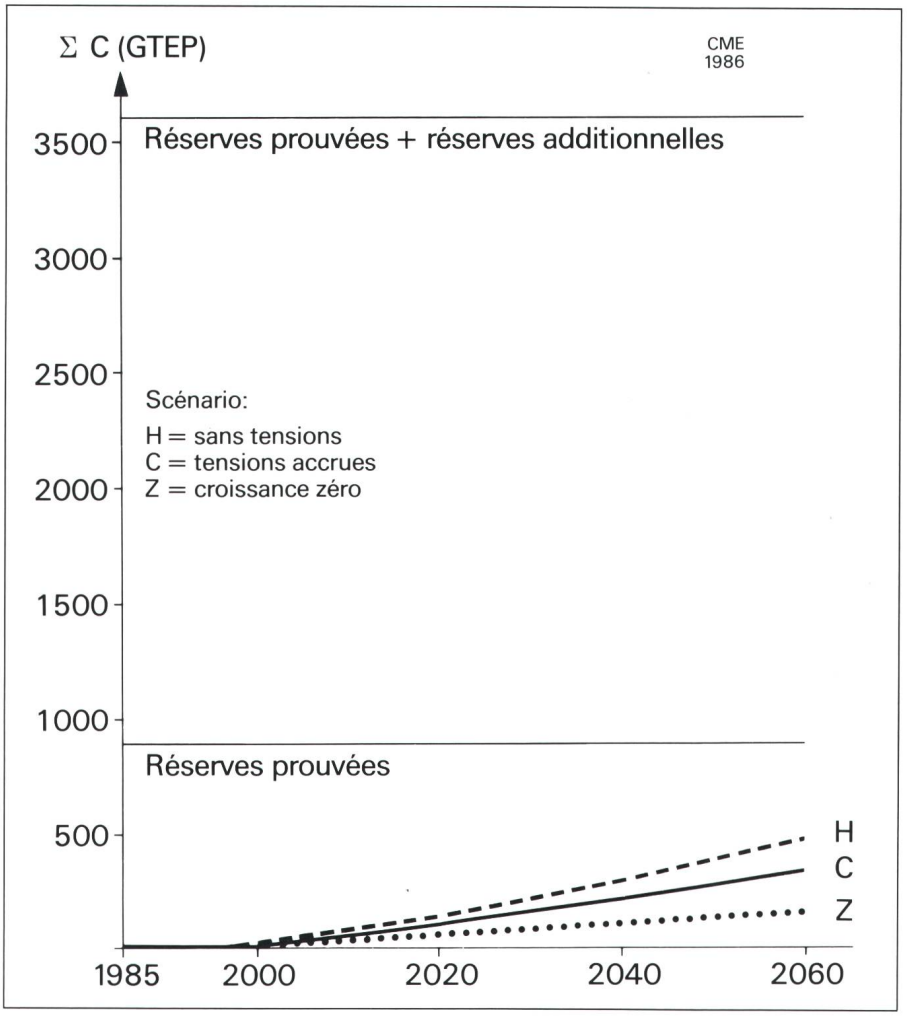


Figure 6 Consommation et réserves en charbon

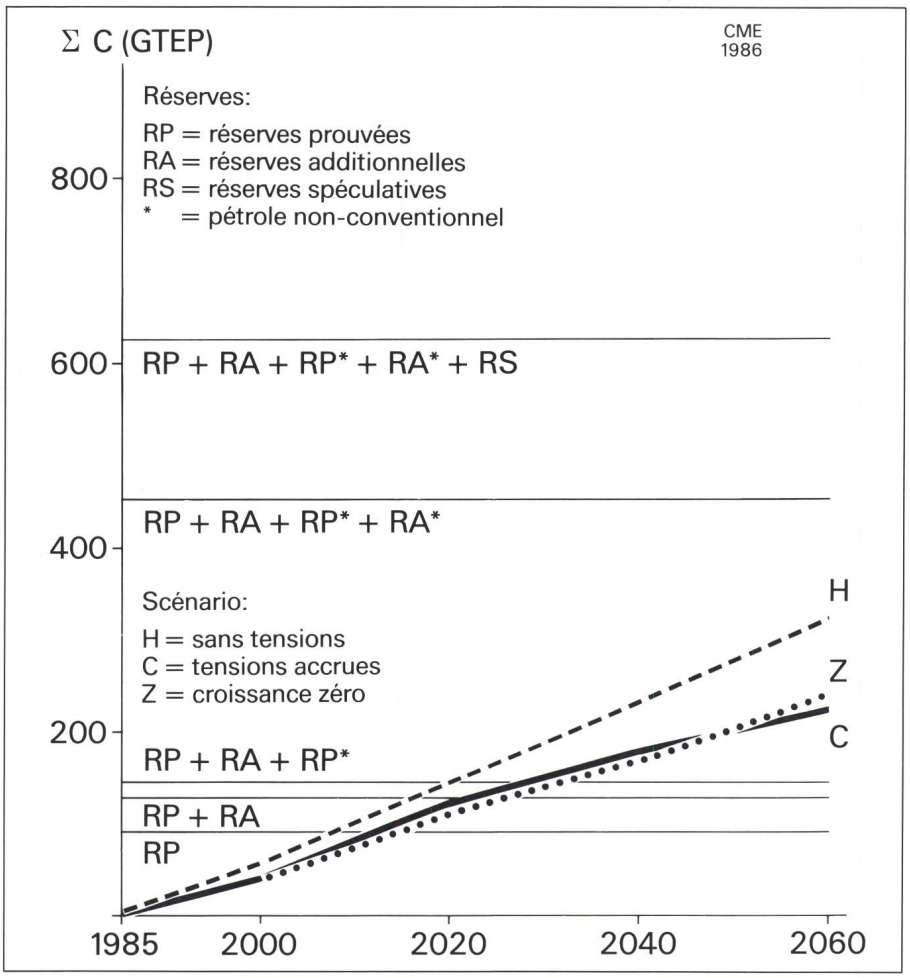


Figure 7 Consommation et réserves en pétrole

cet agent énergétique traditionnel. Le charbon est suivi par le pétrole, ressource la plus demandée actuellement. Pour le pétrole, on distingue entre les réserves conventionnelles et non-conventionnelles, comprenant les schistes bitumineux et sables asphaltiques, qui sont moins bien explorés du fait de leurs coûts élevés. Les réserves de gaz naturel sont du même ordre de grandeur que celles du pétrole. Les chiffres pour l'uranium se rapportent aux types de réacteurs actuels, c'est-à-dire à l'exclusion des surgénérateurs. Comme source, on a utilisé le «livre rouge» de l'OCDE/AIEA. On constate que l'importance de l'uranium est nettement moins grande que celle des trois autres agents énergétiques.

L'importance relative des réserves énergétiques ressort nettement de la figure 5, essentiellement la prédominance du charbon.

On dispose ainsi des bases nécessaires pour passer à la comparaison de la demande et des réserves.

5. Temps jusqu'à l'épuisement des ressources énergétiques

Dans cette comparaison, il faut interpréter objectivement le résultat du fait des différentes catégories de réserves. La proposition présentée à la Conférence mondiale de l'Energie est claire; on considère comme critique le moment où les réserves prouvées seront entièrement épuisées. A ce moment, qui est caractérisé par «tensions accrues» ou «apparition de resserrements», il faudra recourir à de nouvelles méthodes d'extraction avec des coûts vraisemblablement plus élevés.

La figure 6 montre que ce moment n'interviendra pas pour le charbon, quel que soit celui des trois scénarios envisagés. Cette constatation est encore renforcée si l'on prend en compte les réserves additionnelles. Ceci est d'autant plus remarquable que, tant dans les scénarios C que H, le charbon deviendra l'agent énergétique le plus utilisé.

Pour le pétrole (fig. 7), la situation est nettement plus dramatique. Si l'on part du scénario C, les réserves prouvées seront épuisées peu après 2010, les réserves additionnelles en 2020 et les réserves prouvées, non-conventionnelles en 2030 environ. Dans le

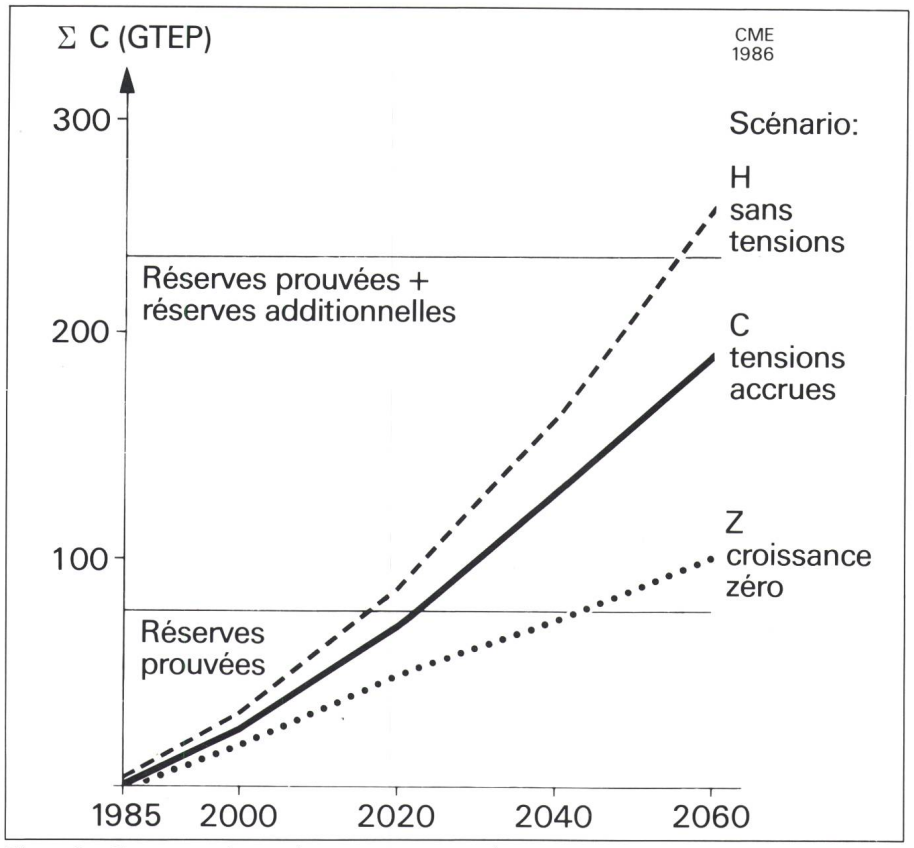


Figure 8 Consommation et réserves en gaz naturel

scénario H, ces événements apparaissent déjà 5 à 10 ans plus tôt. Seules les réserves additionnelles, non-conventionnelles et les réserves spéculatives permettent de repousser sensiblement la période de disponibilité.

Du fait d'un niveau de consommation un peu moins élevé, le moment critique pour le gaz naturel - figure 8 - n'arrivera que peu après 2020, malgré des réserves moins importantes que pour le pétrole. En prenant en compte les réserves additionnelles, le moment où l'on arrivera à l'épuisement se situe vers 2060.

Qu'en est-il alors de l'uranium? Souvenons-nous que pour l'uranium, on a admis une très forte augmentation de consommation. Selon le scénario C, la contribution de l'énergie nucléaire doit être multipliée par 11 entre 1980 et 2020, dans le scénario H par 16. Ceci correspond à des taux d'accroissement de 6,2 et 7,1%, ce qui laisse prévoir un épuisement rapide. Laissons pour l'instant de côté la question de savoir si ce très fort développement est encore réaliste après l'accident de Tchernobyl. En tout état de cause, une multiplication par 11 de la puissance des centrales nucléaires du monde serait un but très ambitieux.

Par ailleurs, on sait que le recours à la technologie des surgénérateurs permet d'améliorer d'un facteur 60 l'utilisation de l'uranium. Ceci n'est pourtant possible que si la technologie des surgénérateurs est techniquement et politiquement réalisable, avec toutes ses conséquences pour le cycle du combustible (retraitement, économie du plutonium). Même si l'on peut l'admettre, il reste encore un très grand si: la production du plutonium demande du temps - même beaucoup de temps.

Dans l'étude présentée à la Conférence mondiale de l'Energie, on a tenu compte de cette possibilité en calculant des sous-scénarios. La variante 1 s'appuie sur les réacteurs actuels, la variante 2 correspond à une solution mixte et la variante 3 à une solution avec surgénérateurs en pénétration forcée. Le résultat ressort de la figure 9 et montre qu'avec les réacteurs actuels, le moment critique sera atteint vers 2010 dans la variante C1 et vers 2007 dans la variante H1. Même avec le recours à la technologie des surgénérateurs, qui implique une coexistence des deux types de réacteurs et que les Français nomment «cohabitation», cette limite ne se déplace que peu et n'est repoussée que de 1-3 ans. La technologie des surgénérateurs ne permettra d'utiliser le potentiel énergétique plus élevé de l'uranium qu'à très long terme seulement.

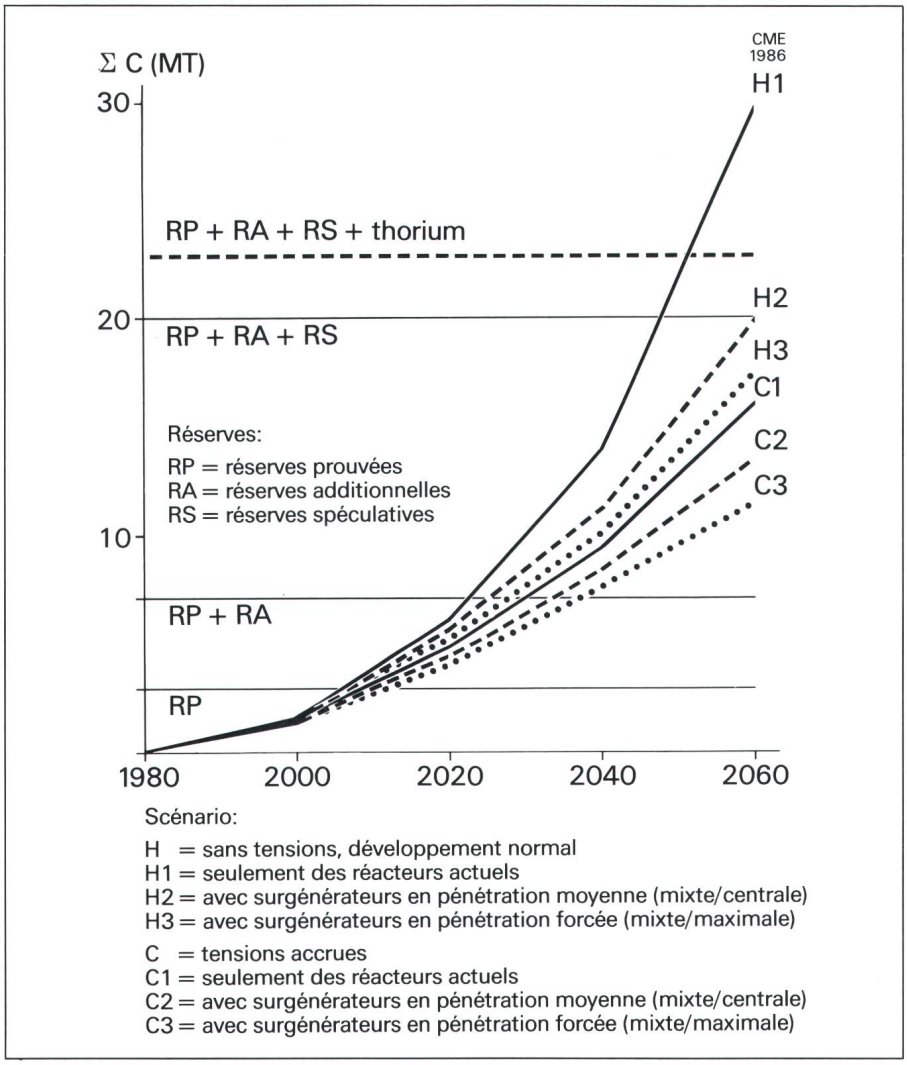


Figure 9 Consommation et réserves en uranium

6. Facit?

Quelle conclusion peut-on tirer de cette accumulation de constatations les plus actuelles sur la demande énergétique mondiale et les ressources disponibles?

En toute humilité, on doit tout d'abord reconnaître que la connaissance est partielle et incertaine. Ceci serait une très mauvaise base pour toute théorie dogmatique éventuelle. On laisse aussi de côté les autres possibilités d'avenir, telles que les spéculations sur le gaz naturel provenant des couches profondes (selon le prof. Gold) et l'extraction de l'uranium des océans. De plus, on ignore si ce gaz naturel existe réellement et si l'uranium peut être extrait des océans avec une consommation d'énergie plus faible que son contenu énergétique. Les conclusions doivent donc rester prudentes. Quoi qu'il en soit, le développement décrit est une possibilité, et par conséquent un modèle méritant qu'on s'y arrête. Enfin, il n'existe actuellement pas de meilleures bases de données que celles qui ont été utilisées pour l'étude.

Tout d'abord, une première constatation presque apaisante: aucune tension sérieuse dans l'approvisionnement ne surviendra manifestement avant l'an 2000, à moins qu'elle ne soit provoquée par des événements politiques ou militaires. Il n'existe donc aucune raison de paniquer. Mais y aurait-il des raisons de ne pas s'en faire?

Si l'on regarde au-delà de la fin du siècle, on constate qu'il existe encore moins de raisons de ne pas s'en faire. Dans le scénario C (tableau III), des tensions apparaissent déjà peu après 2010, pour l'uranium en 2011 et le pétrole en 2013, et après 2020 aussi pour le gaz naturel (2021). Dans le scénario H, ces situations critiques surviennent

Tableau III
Tensions possibles

CME 1986

Scénario	Critère d'épuisement	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Uranium
C	RP	après 2060	2013	2021	2011
C3	RP				2014
C	RP + RA	après 2060	2024	après 2060	2031
C3	RP + RA				2039
H	RP	après 2060	2009	2016	2007
H3	RP				2009
H	RP + RA	après 2060	2021	2055	2024
H3	RP + RA				2029

Scénario: C = tensions accrues
C3 = avec surgénérateurs en pénétration forcée

Scénario: H = sans tensions, développement normal
H3 = avec surgénérateurs en pénétration forcée

Scénario: RP = réserves prouvées
RA = réserves additionnelles

déjà 4 à 5 ans plus tôt. Enfin, il est particulièrement frappant que le recours forcé aux surgénérateurs ne prolonge les limites des réserves d'uranium que de 2 à 3 ans pour les réserves prouvées et de 5 à 8 ans pour les réserves additionnelles.

Seul le charbon est à l'abri de telles tensions. Même s'il ne pose pas de problèmes du point de vue des réserves, il n'est pas sans en présenter sous l'angle des atteintes à l'environnement. Pluies acides, pollution de l'air et effet de serre sont plusieurs épées de Damoclès suspendues sur toute tentative à un recours par trop irraisonné. Il est vrai que les problèmes du soufre (SO_2) et des oxydes d'azote (NO_x) peuvent être largement diminués par des mesures techniques, pour autant qu'on accepte les dépenses correspondantes. Le problème du CO_2 et ses conséquences encore incertaines quant à l'effet de serre ne peuvent par contre pas être résolus. La substitution du charbon pour des raisons de problème du CO_2 n'est pourtant pratiquement pas possible – le pétrole et le gaz naturel sont également des combustibles fossiles qui produisent du CO_2, et l'uranium n'est pas disponible en quantités suffisantes. La contribution de l'uranium à l'approvisionnement mondial en énergie primaire n'atteindra en l'an 2000 – soit juste avant qu'apparaisse une tension – qu'une part de 8%. Comparée à la totalité des réserves énergétiques mondiales, prouvées et additionnelles, sa part n'est que de 1,3%. En recourant à 100% à la technologie des surgénérateurs, son importance pourrait croître – à très long terme pourtant – à 40% environ.

On doit ainsi constater qu'il n'existe, sur la base des connaissances actuelles, aucune solution brévetée pour l'approvisionnement énergétique mondial dans un avenir lointain. Il serait sans doute faux de renforcer les tensions pour certains agents énergétiques en excluant l'un ou l'autre. Il existe encore moins *un* agent énergétique qui pourrait revendiquer l'exclusivité quant à une solution simple du problème.

Dans les considérations qui précèdent, on n'a pas tenu compte des énergies renouvelables. Leur contribution a cependant été chiffrée entre 15 et 25%, soit à des valeurs très substantielles. Mais les installations de production doivent encore être réalisées avant que leur énergie puisse être consommée.

Bien que l'approvisionnement mondial ne paraisse pas être, pour l'instant, dans une situation dramatique, l'humanité n'est nullement aux portes du pays des merveilles. Par bonheur! doit-on ajouter, car il est plus que douteux qu'un monde sans exigences à la réflexion et à l'esprit créatif de l'homme et sans confrontations constantes à des tensions puisse apporter un bonheur particulier. Les limites des ressources énergétiques disponibles resteront donc un sujet pour les temps à venir. La réponse adéquate ne consistera pourtant pas à mettre suffisamment d'énergie à disposition et à choisir judicieusement les agents énergétiques. L'utilisation économe et rationnelle de l'énergie restera certainement également un sujet d'aussi haute actualité. Si l'on peut tirer de cette étude d'approvisonnement hautement complexe *une* conséquence simple et indiscutable, c'est qu'une utilisation économe et rationnelle de l'énergie augmentera toujours la sécurité d'approvisionnement.