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: 65 (1974)

Heft: 24

Artikel: Essai de synthèse : espoirs et limites des sources d'énergie primaires

Autor: Roux, M. / Morf, J.-J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915480

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: 04.12.2025

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

Essai de synthèse

Espoirs et limites des sources d'énergie primaires

Par M. Roux et J.-J. Morf

620.91

Les tableaux suivants donnent pour chaque source primaire d'énergie une fourchette de la puissance moyenne qu'elle pourrait fournir lorsque la consommation totale atteindra 30 000 GW et que, vraisemblablement, les réserves de pétrole et de gaz naturel seront épuisées.

Pour chaque source on a également indiqué les principales limites naturelles et les principaux obstacles géographiques, technologiques, économiques, financiers, écologiques, psychologiques et politiques qui devront probablement être affrontés et au besoin contournés.

Il ressort, en conclusion, que l'humanité disposera de suffisamment d'énergie primaire, mais que l'effort d'adaptation nécessaire sera plus important que par le passé.

Quoique la plupart des observations des conférenciers de ces deux journées d'information aient été prises en considération, les tableaux de synthèse n'engagent que leurs deux auteurs.

Pétrole et gaz naturel — Tableau I

21e siècle Puiss. moy. envisageable	0 à (?10000 GW?)
Limites naturelles	Gisements épuisés au début du 21e siècle (sauf si découvertes imprévues).
Obstacles géographiques	Gisements essentiellement au Proche-Orient et pays asiatiques (Mer du Nord? Gaz d'Europe?).
Obstacles technologiques	*Extraction:* actuellement encore facile, mais de plus en plus difficile au fur et à mesure de l'épuisement. *Utilisation:* aucun obstacle, car la plus commode; directe après raffinage.
Obstacles économiques et financiers	Actuellement bon marché, mais de plus en plus onéreux avec la raréfaction.
Obstacles écologiques	Pollution de l'atmosphère: CO_2 ↗ SO_2 ↗ NO_x ↗ O_2 ↘
Obstacles psychologiques	Insécurité de l'approvisionnement.
Obstacles politiques	Dépendance de l'Europe vis-à-vis des pays possesseurs de gisements.

Charbon — Tableau II

21e siècle Puiss. moy. envisageable	2000 GW à 20 000 GW (voir obstacles écologiques)
Limites naturelles	7 000 000 GW-an (= 3500 ans à 350 ans suivant puissance envisageable) (épuisement O_2 avant épuisement charbon?).
Obstacles géographiques	Gisements essentiellement en Asie 65 % (URSS) Am. Nord 28 % (USA) Europe seulement 5 %
Obstacles technologiques	Extraction pénible à profondeur croissante. Transport et manipulation peu pratiques et malpropres. } Obstacles contournables par gazéification ou liquéfaction artificielle ou passage par H_2. Mais utilisation directe après tri.
Obstacles économiques et financiers	Coût de l'extraction croissant. Coût de la transformation élevé.
Obstacles écologiques	Pollution de l'atmosphère: CO_2 ↗ SO_2 ↗ O_2 ↘ Extraction à ciel ouvert.
Obstacles psychologiques	Conditions de travail.
Obstacles politiques	L'Europe dépendrait beaucoup des pays producteurs. Grèves?

Energie de fission (Uranium)
(Réacteurs actuels et surrégénérateurs futurs) Tableau III

21e siècle Puiss. moy. envisageable	1000 à 30000 GW
Limites naturelles	Plus de 10^6 ans avec surrégénérateurs. Large pénétration du 21e siècle sans surrégénérateur.
Obstacles géographiques	Faciles à surmonter grâce au faible poids du combustible et au faible volume de stockage.
Obstacles technologiques	Extraction, enrichissement et utilisation compliqués. Utilisation directe impossible, nécessité de passer par chaleur, électricité ou hydrogène.
Obstacles économiques et financiers	Prix du kW installé très compétitif, mais problèmes financiers (centrales d'environ 3 GW thermiques et d'environ 1,6 milliard de fr.s. 1974 par unité).
Obstacles écologiques	Effluents radioactifs et déchets radioactifs de longue durée, techniquement maîtrisables.
Obstacles psychologiques	Peur de l'inconnu. Peur de compromettre le patrimoine héréditaire.
Obstacles politiques	Risque de ne plus pouvoir construire de nouvelles centrales dans des pays à démocratie libre. Réglementation du stockage des déchets radioactifs.

Energie de fusion (Lithium, deutérium, tritium) Tableau IV

21e siècle Puiss. moy. envisageable	0 à 30000 GW
Limites naturelles	Plus de mille ans (Lithium, réaction D-T). Inépuisable (mers) (sous réserve des obstacles technologiques).
Obstacles géographiques	Aucun.
Obstacles technologiques	Technique encore non réalisable (1974). Utilisation directe impossible, nécessité de passer par chaleur, électricité ou hydrogène.
Obstacles économiques et financiers	Unités encore plus grandes que centrales à fission. Leur développement ne peut se concevoir qu'à l'échelle d'un très grand pays ou d'une association de pays.
Obstacles écologiques	Connus, plus faibles d'un facteur 3000 à ceux des centrales atomiques actuelles, sauf pollution thermique.
Obstacles psychologiques	Encore inconnus.
Obstacles politiques	Encore inconnus.

Energie solaire Tableau V

21e siècle Puiss. moy. envisageable	de 1 à 30000 GW
Limites naturelles	108000000 GW (impact théorique sur le globe), mais au maximum 1 GW/km² équateur midi sans nuage 0,3 GW/km² équateur, moyenne 24 h, sans nuage 0,2 GW/km² latitude 45°, moyenne 24 h, sans nuage 0,1 GW/km² régions moyennement nuageuses Source soumise aux aléas météorologiques.
Obstacles géographiques	Utilisation semble limitée aux régions tropicales ou mers. Energie intransportable, sauf chauffage à distance (limites contestées par *M. Perrot* et *M. Touchais*).
Obstacles technologiques	Conversion en énergie secondaire bien connue et facile mais de rendement relativement bas (10 à 30%). Système de stockage de l'énergie presque indispensable. Usages envisageables de facilité décroissante: eau chaude en été, eau chaude en hiver, chauffage partiel en hiver, chauffage total en hiver, réfrigération en été, énergie secondaire (pompage, électricité, H_2).
Obstacles économiques et financiers	Prix indéterminables. Nécessité d'obtenir un financement préalable. *Avantage:* Aucune nécessité de recourir à de grandes unités. Probablement compétitif si prix inférieur à 100 fr.s./kW inst.
Obstacles écologiques	Panneaux solaires inesthétiques (îles flottantes + H_2?). Modification du microclimat, sauf si grande dispersion des capteurs.
Obstacles psychologiques	Beaucoup de personnes ont de la peine à prendre au sérieux les promoteurs d'exploitations solaires! Propagation d'idées reçues fausses (d'après *M. Perrot*).
Obstacles politiques	«Droit naturel au soleil» (d'après *M. Touchais*). Droit maritime (?).

Energie hydraulique Tableau VI

21e siècle Puiss. moy. envisageable	200 GW à 3000 GW
Limites naturelles	3000 GW (estimation des ressources potentielles).
Obstacles géographiques	Energie intransportable sans passer par une forme secondaire. Ressources essentiellement localisées en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud.
Obstacles technologiques	Pratiquement nuls, les techniques d'utilisation sont parfaitement maîtrisées. Problèmes de transport entre continents de l'énergie produite (électricité, hydrogène).
Obstacles économiques et financiers	Nécessité d'investir des gros capitaux dans des pays éloignés.
Obstacles écologiques	Nature perturbée (quelquefois embellie). Risque de ruptures de barrages.
Obstacles psychologiques	Opposition des amis de la nature.
Obstacles politiques	Pose en général des problèmes politiques régionaux.

Energie éolienne Tableau VIII

21e siècle Puiss. moy. envisageable	1 GW à 100 GW
Limites naturelles	Inconnues (données souvent contradictoires). Source très irrégulière.
Obstacles géographiques	Energie intransportable sans passer par une forme secondaire, mais assez uniformément répartie.
Obstacles technologiques	Structures devant résister aux vents les plus forts (actuellement bien maîtrisé). Stockage nécessaire sous forme secondaire. Nécessité de passer par énergie mécanique, électrique ou hydrogène.
Obstacles économiques et financiers	Constructions encore trop onéreuses (actuellement 2200 fr.s. par kW installé et 9000 fr.s. par kW moyen).
Obstacles écologiques	Pratiquement aucune influence sur le climat. Esthétique?
Obstacles psychologiques	Le retour aux moulins à vent heurte le modernisme de certaines populations!
Obstacles politiques	Aucun.

Energie géothermique Tableau VII

21e siècle Puiss. moy. envisageable	50 GW à 1000 GW
Limites naturelles	13000 GW, très théorique (en utilisant systématiquement les 63 mW/m² de continent, soit une dispersion extrême).
Obstacles géographiques	Production pratiquement limitée à certaines régions privilégiées. Possibilités dans d'autres parties du globe. Energie primaire intransportable à grande distance.
Obstacles technologiques	Parfois corrosion. Températures relativement basses. Passage par énergie secondaire obligé, sauf chauffage à distance. Profondeur des réservoirs (forages). Echangeurs de chaleur (eau chaude, saumure).
Obstacles économiques et financiers	Energie moins chère qu'avec centrale thermique classique si le site est favorable (2 à 3 ct./kWh toute l'année). kW installé plus cher.
Obstacles écologiques	Rejets de chaleur techniquement maîtrisables. Parfois bruit.
Obstacles psychologiques	Aucun.
Obstacles politiques	Aucun.

Energie marémotrice et houle Tableau IX

21e siècle Puiss. moy. envisageable	0,06 GW à 60 GW
Limites naturelles	1200 GW + 1000 GW pratiquement inexploitables, entièrement perdus en frottements le long des côtes. Cette puissance est puisée dans l'énergie cinétique et gravitationnelle du système terre–lune–soleil (marée)* et dans l'effet des vents marins (houle). (* théorie contestée par *R. Gibrat*)
Obstacles géographiques	Possibilités limitées à une douzaine de sites particuliers. Energie primaire intransportable.
Obstacles technologiques	Travaux de génie civil importants. Nécessité de passer par une énergie secondaire (mécanique, électricité, hydrogène). Stockage virtuel (réseau électrique).
Obstacles économiques et financiers	Investissements élevés. Fr./kW pas encore compétitif, très variable (diminue avec le cube de l'amplitude des marées).
Obstacles écologiques	Inexistants (d'après *R. Gibrat*). Modification de la phase des marées.
Obstacles psychologiques	? (Semble favoriser le tourisme.)
Obstacles politiques	Eventuellement pour les projets multinationaux.

Energie thermique des mers Tableau X

21e siècle Puiss. moy. envisageable	0 à 0,6 GW
Limites naturelles	10^6 GW, théorique pour toute la surface des océans, donc pratiquement inexploitable. Avantage sur énergie solaire: fonctionne nuit et jour.
Obstacles géographiques	Possibilités limitées à une quarantaine de sites particuliers. Energie primaire intransportable.
Obstacles technologiques	Tuyaux d'aspiration d'eau froide de grand diamètre soumis à des contraintes énormes. Nécessité de passer par des formes d'énergie secondaires (mécanique, électricité, hydrogène).
Obstacles économiques et financiers	Investissements très élevés avec risque de non-réussite. Prix du kW installé 4 à 8 fois celui d'une centrale thermique.
Obstacles écologiques	Aucun.
Obstacles psychologiques	Aucun.
Obstacles politiques	Aucun.

Fourchette des puissances moyennes envisageables Tableau XI

Pétrole et gaz naturel	zéro (hypothèse)
Charbon	2000 GW à 20 000 GW
Fission conventionnelle + surrégénérateurs	1000 GW à 30 000 GW*
Fusion	0 GW à 30 000 GW*
Energie solaire	1 GW à 30 000 GW
Energie hydraulique	200 GW à 3 000 GW*
Energie géothermique	50 GW à 1 000 GW
Energie éolienne	1 GW à 100 GW*
Energie marémotrice et houle	1 GW à 60 GW*
Energie thermique des mers	0 GW à 1 GW*
Total limité par sagesse à	30 000 GW

*) Avec passage obligé par forme secondaire telle qu'électricité ou hydrogène.

Conclusion

Même si le pétrole et le gaz naturel viennent un jour à manquer, l'humanité disposera de suffisamment d'autres sources d'énergie primaire pour satisfaire ses besoins énergétiques.

La mise en valeur de ces sources dépendra en partie des possibilités de transport et de stockage offertes par l'hydrogène et de leur utilisation rationnelle dans l'optique d'un *bilan exergétique* sainement conçu.

En conclusion, citons Richard Nixon:

«It's no more an *energy crisis*. It's only a big problem to be solved and it will be solved.»

Adresses des auteurs:

M. Roux, Office fédéral de l'économie énergétique, 14, Kapellenstrasse, CH-3001 Berne, et *J. J. Morf*, professeur, Ecole polytechnique fédérale D. E., 16, chemin de Bellerive, CH-1007 Lausanne.

Wir machen darauf aufmerksam, dass eine beschränkte Anzahl des Konferenzbandes «Espoirs et limites des sources d'énergie non conventionnelles» beim Administrativen Sekretariat des SEV, Postfach, 8034 Zürich, zum Preise von Fr. 40.– (Fr. 20.– für Mitglieder) erhältlich ist.

Nous attirons l'attention sur le fait qu'un nombre limité du tirage à part «Espoirs et limites des sources d'énergie non conventionnelles» est disponible. Il peut être obtenu au Secrétariat administratif de l'ASE, case postale, 8034 Zurich, au prix de fr. 40.– (fr. 20.– pour membres).