

## La disparition des énergies non renouvelables et le facteur F = 4

Pierre Lehmann

Comme le souligne le *Manifeste*, l'énergie du futur sera entièrement fournie par les seules ressources renouvelables, lesquelles sont toutes dérivées de l'énergie solaire, à l'exception de la géothermie (dont la renouvelabilité n'est d'ailleurs pas toujours garantie).

Aujourd'hui en Suisse, les seules énergies renouvelables utilisées à grande échelle sont l'énergie hydraulique et, dans une moindre mesure, le bois. Ces deux ressources ont fourni en moyenne ces dernières années environ 15 % de l'énergie totale finale (1) consommée dans le pays. Presque tout le reste, soit 85 % de l'énergie consommée, a été fourni par des ressources non renouvelables. Par conséquent, la disparition des énergies non renouvelables implique, si rien ne change, une diminution de la consommation d'un facteur  $100/15 = 6,6$ .

Le Tableau 1 donne la distribution de la consommation d'énergie finale sur les différents agents énergétiques pour les années 1990, 1995 et 2000.

TABEAU 1

### LES DONNÉES DU PROBLÈME DE L'ÉNERGIE EN SUISSE

estimées pour l'énergie finale en PJ par an<sup>(a)</sup>

ÉNERGIE	CONSOMMÉE AUJOURD'HUI						CONSOMMATION POSSIBLE À LONG TERME	
	1990		1995					
	PJ	%	PJ	%			PJ	%
PÉTROLE	501		497		510	59,7	0	0
ÉLECTRICITÉ (b)								
• hydraulique	95		102		109	12,8	100 (g)	48
• nucléaire	69		67		72	8,4	0	
• pétrole + autres (c)	3		4		7	0,8	0	
GAZ NATUREL	63		86		95	11,1	0	
CHARBON	14		8		6	0,7	0	
DÉCHETS INDUSTRIELS	9		10		16	1,9	2	1
BOIS	17		21		20	2,4	25	12
CHALEUR À DISTANCE (d)	10		12		13	1,5	3	1
BIOGAZ							15	7
VENT	~3		~5		~6 (f)	0,7	5	3
SOLAIRE ACTIF							30	14
GÉOTHERMIE, divers							15	7
PHOTOVOLTAÏQUE (e)							15	7
TOTAL	784	100	804	100	854	100	210	100
CHANGEMENT PAR RAPPORT À 1990			+ 3,6 %		+ 8,9 %		– 73 %	

- a) PJ = Pétajoules (voir définitions en fin de volume). 1 PJ correspond à l'énergie contenue dans 24 000 tonnes de mazout. Les chiffres pour 1990, 1995 et 2000 sont tirés de la « Statistique globale suisse de l'énergie », *Bulletin ASE/AES* n° 16/2001.
- b) Consommation répartie au prorata des productions. Voir commentaires ci-dessous.
- c) Il n'est pas facile de déterminer avec précision ce que comprennent les "autres". Selon le bulletin ASE/AES, il s'agit de la production photovoltaïque, éolienne et à partir de biogaz. Il y a donc une certaine indétermination en rapport avec les données séparées relatives à ces

agents (bas du tableau). De toute façon, il s'agit de quantités relativement faibles.

- d) Chaleur fournie aujourd'hui principalement par l'incinération des ordures avec une contribution de centrales thermiques surtout au gaz.
- e) Production d'électricité uniquement.
- f) Estimations selon bulletin ASE/AES.
- h) Le potentiel long terme d'électricité hydraulique en Suisse (voir le chapitre sur l'énergie hydroélectrique) est estimé à 136 PJ. De cela, il faut soustraire les pertes de distribution, soit environ 10 PJ par an, et (probablement) une part d'exportation vers des pays non pourvus de ressources hydroélectriques. On a tentativement fixé cette part à 26 PJ/an (moyenne des dix dernières années, 1991-2000, 23 PJ).

Le facteur F est, par définition, le rapport entre la consommation d'énergie finale de la Suisse en 2000, année de référence, et la consommation d'énergie du pays à différents horizons dans le futur. Si l'on accepte les propositions du tableau 1 pour les contributions possibles des énergies renouvelables, ce facteur atteindra la valeur

854/210



4 lorsque les énergies non renouvelables auront disparu. Il se trouve que cette valeur correspond à celle proposée par von Weizsäcker et Lovins dans leur livre *Facteur 4* (2). Mais il faut relever que ces auteurs ont analysé le problème sous l'angle de l'efficacité d'utilisation de l'énergie et indépendamment des ressources utilisées. Ils concluent que l'on peut disposer à peu près des mêmes services (chaleur, transports, lumière, etc.) en utilisant quatre fois moins d'énergie

qu'aujourd'hui. Il se trouve donc que cette énergie résiduelle nécessaire correspond, dans le cas de la Suisse, à ce qui est raisonnablement possible à partir des seules ressources renouvelables.

Pour atteindre le facteur 4, il faut dès maintenant réduire notre consommation d'énergie et développer les énergies renouvelables. Mais il faut bien constater que nous n'en prenons pas le chemin. En effet, la *Statistique globale suisse de l'énergie* (édition août 2001) indique que la consommation a augmenté de 8,9 % entre 1990 et 2000 (voir le tableau 1). Les résolutions et déclarations d'intention des autorités politiques et de l'Office fédéral de l'énergie n'ont manifestement été suivies d'aucun effet, au moins jusqu'à aujourd'hui. Ce laisser-aller peut être très lourd de conséquences. Toute augmentation de la consommation dans ces prochaines années rendra d'autant plus grand l'effort nécessaire pour atteindre le facteur 4.

Il est intéressant de relever à ce sujet que, sur les 510 PJ de pétrole consommés en 2000, 293 PJ ont servi de carburant pour des moteurs (surtout trafic routier) et 217 de combustible pour le chauffage. De cette dernière fraction, seule une très petite partie a été utilisée dans des couplages chaleur-force (CCF = production simultanée de chaleur et d'électricité ; voir le chapitre Techniques d'utilisation de l'énergie), alors que cette technique de haut rendement est disponible et éprouvée pour des petites comme pour des grandes installations. Malgré cela, la part du pétrole utilisée pour le chauffage tend nettement à baisser: 64 % en 1980, 50 % en 1990 et 43 % en 2000. L'augmentation de la consommation de pétrole est donc due au trafic routier. On peut remarquer que les voitures à faible consommation ne pénètrent le marché que lentement, alors que les véhicules 4x4, gros consommateurs, ont un grand succès.

### **Le potentiel des énergies renouvelables**

Le tableau 1 contient des propositions pour les quantités d'énergie que l'on peut obtenir à terme à partir de ressources renouvelables. Même s'il ne s'agit pas d'estimations précises, on peut sans difficulté justifier les valeurs proposées.

- *Hydroélectricité* : 100 PJ pour la consommation du pays. La production hydroélectrique est en fait nettement plus grande du fait principalement de l'exportation (production 2000: 136 PJ). Il semble raisonnable de maintenir cette part d'exportation tant que la Suisse reste intégrée dans le réseau maillé européen.
- *Bois* : La valeur de 25 PJ proposée correspond assez bien à ce que le bois fournissait en Suisse à la fin de la dernière guerre mondiale. Cela représente l'énergie disponible dans un peu plus de 4 millions de stères, quantité que la forêt suisse peut fournir sans déboisement. Certains estiment cette quantité à 6 millions de stères, soit pas loin de 40 PJ.
- *Biogaz* : 15 PJ. D'après un rapport de SEDE SA établi pour la Commission fédérale de la Conception globale de l'Énergie (3), le potentiel du biogaz au titre uniquement du cheptel suisse, et sans tenir compte de déchets végétaux, peut être estimé raisonnablement à 25-30 PJ.
- *Vent* : 5 PJ. Mondialement, l'énergie éolienne affiche une forte croissance, et certains (4) pensent même qu'elle va jouer un rôle central dans la production d'énergie du futur. Mais en Suisse le nombre de sites favorables est restreint.
- *Photovoltaïque* : 15 PJ. Représente une surface de panneaux de l'ordre de 30 km<sup>2</sup>, ce qui est peu (les bâtiments occupent en Suisse environ 400 km<sup>2</sup>). À ce stade, ce sont plutôt les coûts et les problèmes de pollution liés à la fabrication des semi-conducteurs (voir le chapitre Énergie photovoltaïque) qui limitent la production.
- *Chaleur solaire active* : 30 PJ. Il s'agit essentiellement de panneaux solaires (capteurs) pour la production d'eau chaude. Si chaque m<sup>2</sup> de panneau rapporte 400 kWh/an, la surface nécessaire est d'environ 20 km<sup>2</sup>, ce qui est peu (la surface d'habitat et d'infrastructure du seul canton de Vaud est de 270 km<sup>2</sup>). Aujourd'hui, il y a déjà plus de 1,3 km<sup>2</sup> de panneaux installés

en Suisse et la surface augmente rapidement. Une appréciation plus élevée du potentiel de chaleur solaire active est sans doute défendable.

- *Géothermie* : 15 PJ. Cette estimation n'est pas élaborée. Il se peut que son potentiel soit beaucoup plus élevé. Des essais sont en cours pour déterminer la faisabilité de centrales géothermiques (voir le chapitre à ce sujet).
- *Chaleur à distance* : 3 PJ au titre de ce qui restera d'ordures ménagères et autres déchets à incinérer.

Les estimations ci-dessus sont à notre avis « raisonnables ». On pourrait développer la production bien davantage, mais cela créerait des problèmes : des centrales solaires n'ont rien à faire dans les Alpes, les rivières ne sont pas d'abord de l'énergie hydraulique et un arbre n'est pas d'abord du bois de feu.

L'augmentation proposée de la production d'énergie renouvelable ne va cependant pas de soi et demandera un effort considérable. À ce stade, rien n'indique que les pouvoirs politiques et économiques soient prêts à le consentir. C'est pourquoi il nous paraît nécessaire que le renoncement à certains services et produits devienne une composante importante de la politique énergétique, au moins à l'échelon individuel. Le mythe de la prospérité par l'expansion économique empêchera probablement qu'une telle proposition soit soutenue par l'officialité, mais cela n'enlève rien à son importance et à sa signification. Par ailleurs, le renoncement permettrait d'accélérer notablement la transition vers le tout renouvelable et la rendrait moins difficile.

Il nous paraît raisonnable, au vu de ce qui précède, d'adopter le facteur  $F = 4$ , puisqu'il représente un minimum difficilement contournable. Bien sûr, rien n'interdit de viser un facteur encore plus grand, et il est fort possible que l'efficacité et la modestie permettent d'y arriver. Dans tous les cas, il sera nécessaire de mettre l'accent sur la réduction aussi rapide que possible de notre consommation d'énergie, le temps disponible pour atteindre le facteur 4 étant très court par rapport aux temps historiques. Nous proposons d'envisager un délai de quarante ans pour atteindre ce but. C'est peu au vu de la longueur du chemin à faire, mais c'est en même temps long si l'on songe à la rapidité avec laquelle la consommation des énergies non renouvelables épuise les stocks et détériore les conditions de vie sur la planète.

Il ne faut bien sûr pas se faire d'illusions. Obtenir le facteur 4 en quarante ans suppose un plan d'urgence, qui devrait être mis sur pied par les autorités politiques avec le soutien des pouvoirs économiques. Or ces derniers s'imaginent encore que la croissance économique permanente finira par résoudre tous les problèmes comme par enchantement. Quand ils ouvriront les yeux, il risque d'être déjà trop tard. L'espoir de réaliser la nécessaire réduction en temps utile réside par conséquent d'abord chez les citoyens et citoyennes qui peuvent d'une part réaliser chez eux des économies d'énergie et, d'autre part, soutenir des initiatives populaires qui proposent des moyens efficaces pour accélérer la transition comme, par exemple, de taxer l'énergie au lieu du travail, de sortir du nucléaire, de promouvoir l'énergie solaire, etc.

### **Réduction de la consommation d'énergie**

Cette réduction doit être entreprise indépendamment des ressources mises en jeu. En d'autres termes, même si l'on utilise des agents énergétiques renouvelables, on ne pourra pas échapper à la nécessité d'être aussi économe et efficace que possible, car ces agents ne sont disponibles qu'en quantités limitées et doivent être partagés avec tout le monde.

La mise en œuvre des économies d'énergie va créer ce qu'Amory Lovins a appelé des Négawatts, c'est-à-dire une puissance libérée mise à disposition pour d'autres applications. Étant donné que l'efficacité d'utilisation de l'énergie est aujourd'hui misérable (l'énergie utile ne

représente en grosse moyenne qu'un peu plus de la moitié de l'énergie finale mise en jeu), les Négawatts seront au début nettement plus avantageux que les Mégawatts. Dit autrement, un kWh économisé est aujourd'hui meilleur marché qu'un kWh nouveau produit. Cette constatation a donné lieu à différentes stratégies énergétiques connues sous le nom de LCP (Least Cost Planning) ou DSM (Demand Side Management, voir le chapitre sur la Bureautique), dont le but est précisément de valoriser les Négawatts. À titre d'exemple, une compagnie d'électricité aurait avantage à investir chez ses clients pour réduire leur consommation (à confort et productivité inchangés), plutôt que d'investir dans une nouvelle centrale ou d'acheter des parts dans des centrales appartenant à d'autres compagnies. Cela implique que cette compagnie devienne un vendeur de services plutôt qu'un vendeur de courant. Ce que le client désire, c'est de la lumière, de l'énergie mécanique ou de la chaleur. Si on peut lui fournir ces services pour moins d'énergie, il n'en sera que mieux servi et la compagnie d'électricité pourra même vendre ses kWh plus chers, sans que pour autant la facture du client augmente.

Un autre potentiel de réduction réside dans la décentralisation, l'énergie finale étant produite aussi près que possible du lieu de consommation. Le schéma de la figure 1 (dû originalement à l'ingénieur allemand U. Bossel et reproduit dans *l'ADERoscope* n° 5, juillet 1996) illustre bien le potentiel considérable des Négawatts et de la décentralisation. Dans cet exemple, la douche exige 100 kcal (0,116 kWh) d'énergie utile. Si on fabrique l'eau chaude avec un chauffe-eau électrique à partir de l'eau du réseau, on doit consommer 1500 kcal (1,74 kWh) d'électricité. Cette électricité, produite par une centrale thermique dont le rendement est de 33 %, exige l'utilisation de 4500 kcal (5,23 kWh) de combustible ; si on admet que la mise à disposition du combustible (charbon ou uranium) demande en moyenne un tiers de l'énergie contenue dans le combustible, on aboutit à la mise en jeu de 6000 kcal (6,97 kWh) pour 100 kcal d'énergie utile, soit un rendement de 1,67 %. En préparant l'eau chaude avec des panneaux solaires, on évite toute la chaîne de transformation de l'énergie brute en énergie finale ; si en plus on récupère une partie de la chaleur qui part avec l'eau de la douche, on n'utilise que 500 kcal d'énergie finale (fournie par le soleil et donc gratuite), si bien que le rendement global passe à 20 %. On a obtenu le même service (la douche) pour 12 fois moins d'énergie (20/1,67).

#### FIGURE 1

*Le service de la douche rendu :*

*de manière centralisée par des Mégawatts*

*de manière décentralisée par l'énergie solaire  
(production de Négawatts)*

Les économies d'énergie, en particulier d'électricité, constituent aussi un domaine d'application pour les technologies modernes. Dans l'exemple de la figure 2, l'énergie finale nécessaire au pompage d'une certaine quantité d'eau est réduite par un facteur 2,3 en adaptant la vitesse du moteur à la demande (ce qui exige un convertisseur de fréquence électronique), en augmentant le rendement de la pompe et du moteur, et en réduisant les pertes dans le couplage moteur-pompe et les conduites.

#### FIGURE 2

##### EFFICACITÉ D'UN POMPAGE D'EAU

*a : avec un équipement usuel*

*b : avec un équipement optimisé*

Pour un même travail fourni de 31 (unités arbitraires), l'énergie nécessaire dans le cas b est

100/43 = 2,33 fois plus faible. L'amélioration principale est le remplacement de la vanne de contrôle de débit par un régulateur de vitesse électronique.

Source : Arnold P. Fickett, Clark W. Gellings and Amory B. Lovins, « Efficient Use of Electricity », *Scientific American*, special issue Energy for Planet Earth, Sept. 1990.

Concernant la production et la distribution d'électricité, l'ouragan Lothar qui, en décembre 1999, a détruit beaucoup de forêts en Europe et renversé quantité de lignes de transmission, privant des milliers de personnes d'électricité, surtout en France, aurait dû faire réfléchir les compagnies d'électricité, en particulier EDF (Électricité de France). La récurrence d'ouragans de cette violence est d'autant plus à craindre que l'homme est en passe de déstabiliser le climat (voir le chapitre Énergie et climat) ; si on veut réduire les conséquences de tels événements, il y aurait lieu de décentraliser la production et d'abaisser la tension des lignes de transmission de manière à pouvoir les enterrer (voir le chapitre Décentralisation et autonomie). Mais aucune réflexion de ce genre ne semble avoir effleuré les potentats de l'électricité, ni d'ailleurs les politiciens. On assiste au contraire à une promotion de la vente de courant par une libéralisation du marché de l'électricité, censée faire baisser le prix du kWh. Comme l'a montré le cas récent de la Californie, où l'offre n'a plus pu suivre la demande, provoquant des coupures de courant et une montée des prix, une baisse initiale du prix risque bien d'être suivie par des augmentations massives. De plus, l'obsession du courant bon marché aboutit à des économies sur l'entretien et tend à renvoyer des investissements pourtant nécessaires pour le renouvellement d'installations vétustes. La fourniture d'électricité devient ainsi plus fragile. Dans le cas du nucléaire, la probabilité d'accidents majeurs augmente.

Dans le domaine de l'automobile, le facteur 4 est parfaitement possible. La consommation moyenne des voitures aujourd'hui est, d'après le TCS, de 8,1 litres/100 km. Le Technicum de Lucerne a construit un prototype de voiture hybride consommant 2,5 litres/100 km. Cette voiture peut atteindre 110 km/h et son autonomie est de 500 km. Elle utilise, outre un petit moteur thermique à essence ou à gaz de 360 cm<sup>3</sup>, un moteur électrique de 6,2 kW. L'énergie de freinage est récupérée dans des supercapacités pour réutilisation immédiate et trois batteries conventionnelles au plomb permettent de rouler 30 km sans utiliser le moteur thermique. La voiture Ultralite de General Motors (1991) et la Vesta de Renault (1987) ont des consommations du même ordre. De plus, le RMI (Rocky Mountain Institute) a montré que l'application systématique des meilleures techniques disponibles permettait de ramener la consommation d'une voiture de tourisme de 4 à 5 places à environ 1 litre/100 km (voir le chapitre sur les Transports). La pénétration du marché par des voitures à faible consommation devrait être facilitée par des taxes et des mesures fiscales.

Dans le domaine du chauffage des locaux, le facteur 4 est également possible moyennant l'amélioration de l'enveloppe des bâtiments et une meilleure utilisation des apports solaires passifs. Les techniques d'isolation ont fait des progrès considérables, en particulier pour les fenêtres. La démonstration a même été faite qu'une maison bien conçue pouvait être alimentée en énergie, chauffage, eau chaude et électricité, uniquement par le rayonnement solaire (Maison Jenny à Berthoud). Il est clair que la diminution des volumes chauffés permettrait de contribuer de manière importante à la réduction des besoins de chaleur. Il en est de même de l'abaissement de la température des locaux. La marge de manœuvre pour atteindre le facteur 4 est ici considérable.

Finalement, la diminution de la consommation d'énergie implique aussi qualité et durabilité. L'obsession de la croissance économique a fait que l'on travaille aujourd'hui de plus en plus pour l'obsolescence, ce qui entraîne un gaspillage gigantesque de matière, d'énergie et de compétences auquel il faudra bien mettre fin tôt ou tard. La société y gagnera aussi en stabilité.

## Les blocages économiques

Contrairement à ce que l'on veut nous faire croire, les arguments économiques vont souvent à l'encontre des intérêts de la société et empêchent que les bonnes solutions soient retenues.

Imaginons, par exemple, que la consommation des voitures passe de 8 à 3 litres/100 km. Comme il y a en Suisse environ 3 millions de voitures parcourant en moyenne 15 000 km/an, l'économie de 5 litres/100 km par voiture se traduit par une diminution des ventes de carburant de 2,25 milliards de litres par an, soit un manque à gagner de l'ordre de près de 2 milliards de francs par an pour la Confédération, sans parler de la diminution du chiffre d'affaires des compagnies pétrolières et des distributeurs. Dans la logique de la prospérité par l'expansion économique, l'efficacité dans les transports est une proposition inacceptable. On pourrait bien sûr augmenter le prix de l'essence de manière à maintenir les revenus, mais cela déclencherait les indignations d'usage du Parti des automobilistes et du TCS, et ne résoudrait pas le problème de la diminution du travail provoquée par la diminution des besoins en carburant.

D'une manière générale, une hausse du coût de l'énergie, en particulier sous forme d'une taxe sur les agents non renouvelables, serait sûrement un moyen efficace de promouvoir l'indispensable diminution de la consommation d'énergie. Mais cela suppose d'autres mesures. Il faudrait, en particulier, anticiper les modifications dans la structure de l'emploi consécutives à la disparition progressive des énergies non renouvelables, de manière à ce que les conversions nécessaires dans l'apprentissage et l'enseignement puissent être entreprises en temps utile. Il y aurait lieu, par exemple, de former un corps de métier pour la mise en place et l'exploitation d'unités de production de biogaz pendant que diminuerait progressivement le nombre de personnes formées au contrôle des brûleurs à mazout et de citernes. Les spécialistes du couplage chaleur-force (ou cogénération) et des moteurs Stirling (moteurs thermiques pouvant utiliser n'importe quelle source de chaleur) remplaceraient progressivement les spécialistes du nucléaire. Et ainsi de suite. S'il apparaît assez évident que le facteur 4 créera davantage d'emplois qu'il n'en éliminera, encore serait-il souhaitable que la transition se fasse sans trop de heurts. Le problème n'est pas simple et remet en question les credo économiques actuels.

Une possibilité serait de former dès maintenant une partie des chômeurs et des apprentis dans les métiers liés aux économies d'énergie et aux énergies renouvelables. Mais cela implique que ces gens trouvent ensuite du travail, c'est-à-dire que la transition impliquée par le facteur 4 ait été mise en chantier. La priorité donnée aujourd'hui par les décideurs économiques et politiques à la libéralisation des marchés, en particulier de celui de l'électricité, ne permet pas d'espérer que cela se passe dans un avenir proche. On en est encore à pousser à l'expansion économique, quitte à promouvoir le gaspillage. Le message de l'ouragan Lothar et de la marée noire due au naufrage du pétrolier Erika, qui s'est produit peu après, n'a manifestement pas été entendu.

### Notes

- 1 On distingue entre énergie *primaire* ou brute (pétrole non raffiné, énergie potentielle de l'eau derrière un barrage, charbon dans la mine, etc.), énergie *finale* mise à disposition du consommateur (électricité à l'entrée de la maison, carburant dans le réservoir, etc.) et énergie *utile* correspondant au service rendu (lumière, déplacement, chaleur dans la maison, etc.)
- 2 E. U. von Weizsäcker, Amory B. Lovins, L. Hunter Lovins, *Facteur 4, deux fois plus de bien-être pour quatre fois moins de gaspillage*. Version française: Mens, Terre Vivante, novembre 1997 (version originale allemande: Munich, Droemer Knauer, 1995).
- 3 SEDE S.A., *Le potentiel énergétique suisse du gaz de fumier*. Étude GEK No 17, 1977. Office fédéral des imprimés et du matériel, Berne.
- 4 Lester Brown, «Save the Planet (and Prosper)», *The Ecologist*, vol. 31, n° 10, Dec. 2001/Jan. 2002.