



Les exigences du développement durable

## Les ambitions de la Suisse

# pour 2030

par Pierre Verstraete\*

**Les énergies renouvelables ont, comme toutes les formes d'énergie, des avantages et des inconvénients. Mais ce ne sont pas celles dont on parle le plus qui sont les plus prometteuses dans notre pays. En 2030, la force hydraulique restera, et de loin, la principale source renouvelable, quels que soient les efforts consentis pour valoriser les autres technologies.**

Le développement des sources renouvelables s'inscrit dans un contexte énergétique mondial très tendu. L'approvisionnement est assuré à 83% par les énergies fossiles et nucléaires, autrement dit par des ressources physiquement limitées. A quoi s'ajoute le fait que l'utilisation intensive des énergies fossiles pourrait mettre en péril, si ce n'est déjà fait, les équilibres climatiques du globe.

Dans les années 80, les Nations Unies publiaient le rapport Brundtland, qui définit le concept de développement durable: satisfaire aux besoins actuels sans compromettre la capacité de futures générations à répondre à leurs propres besoins. La notion de développement durable fut depuis lors progressivement étendue à l'ensemble des activités humaines. En 1997, le Protocole de Kyoto fixait d'ambitieux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

### Intermittentes

Les sources renouvelables (ER) satisfont complètement à ces nouvelles exigences. Elles sont renouvelables en ce sens qu'elles trouvent leur origine soit dans le

Soleil soit dans les profondeurs de la Terre. Ainsi, les énergies solaire, éolienne, hydraulique et biomasse sont des produits de la machine atmosphérique terrestre alimentée par le rayonnement solaire (fig. 1). La géothermie fait exception puisqu'elle résulte essentiellement de la chaleur dégagée par la désintégration d'éléments radioactifs dans le noyau de la Terre (température 5000 à 6000 °C).

L'avantage majeur des ER réside dans leur disponibilité géographique, c'est-à-dire qu'elles sont bien distribuées dans le monde, tout en présentant des intensités

très variables selon les régions. Elles sont, à notre échelle, illimitées, en ce sens qu'elles peuvent être exploitées sans aboutir à leur épuisement. Leur contribution au réchauffement climatique est dans tous les cas négligeable.

Parmi leurs principaux inconvénients figure le fait qu'à l'exception de l'hydraulique et de la géothermie, elles sont diffuses, diluées et, pour certaines, intermittentes. Elles nécessitent d'immenses surfaces de captage. Et leur production, solaire et éolienne surtout, est imprévisible de sorte qu'il faut disposer de capacités de remplacement pour compenser leurs

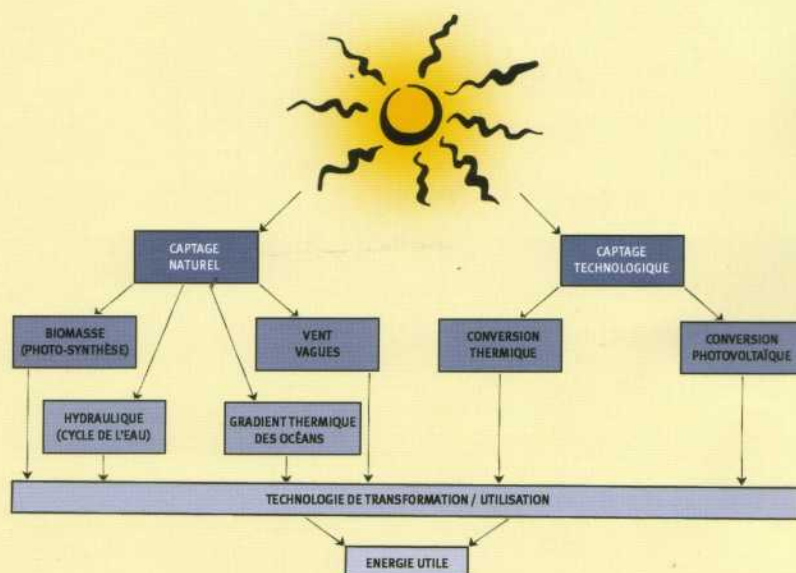


Fig. 1: Sources renouvelables issues du rayonnement solaire. (Source: G.Sarlos, P.-A. Haldi, P. Verstraete: *Systèmes énergétiques*, PPUR, 2003)

périodes d'indisponibilité. Dans l'état actuel de la technique, la compétitivité de ces sources n'est pas établie, pour toutes les applications, sauf subventions majeures.

## Disproportions

L'objectif ultime d'une politique énergétique moderne consiste néanmoins à réduire la part écrasante des agents fossiles en les économisant dans les pays développés, et de favoriser, autant qu'elle est techniquement et économiquement réalisable, l'utilisation des sources renouvelables, tout en maintenant notre niveau de vie actuel et en améliorant celui des populations défavorisées.

En 2003, la consommation mondiale d'énergie primaire était de 468 exajoules (1 joule=1 watt/sec., exa=10<sup>18</sup>), dont 80 EJ issus de sources renouvelables. Le bois (61%) et l'hydraulique (36%) constituent l'essentiel de cet apport renouvelable, contre seulement 3% pour ce qu'il est convenu d'appeler les nouvelles énergies renouvelables (NER).

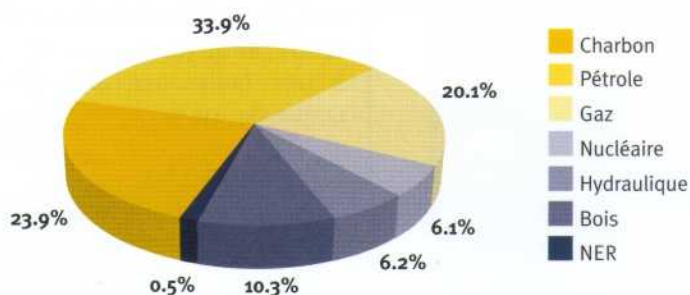


Fig. 2: Production mondiale d'énergie primaire en 2003 - part des différentes sources. (Sources: AIE)

Depuis les chocs pétroliers des années 70, des efforts importants ont été faits dans les pays industrialisés pour développer les sources renouvelables. Les exigences en matière de durabilité, c'est-à-dire le développement technologique et la protection de l'environnement, ainsi que les incertitudes géopolitiques concernant l'approvisionnement en produits pétroliers, ont favorisé l'incinération des déchets et la biomasse pour la production d'électricité ou de chaleur, venant ainsi compléter le développement de l'hydraulique.

## Essor éolien

Le développement et l'utilisation commerciale des nouvelles énergies renouvelables restent limités à un petit nombre de pays, dont certains se sont dotés de programmes promotionnels importants avec des objectifs ambitieux. On observe notamment une percée remarquable de l'énergie éolienne, dont la puissance installée dans l'Union européenne totalise 35 000 mégawatts (MW), avec un rythme de croissance annuel moyen de près de 5000 MW depuis 2001. Ce développement accéléré repose sur des appuis massifs des Etats concernés sous forme de crédits de recherche, de contributions aux investissements, de facilités fiscales et de tarifs préférentiels.

Le défi du 21<sup>e</sup> siècle est de réduire la part, actuellement de 83%, des énergies non renouvelables, en voie d'épuisement pour certaines et responsables de la pollution et de l'augmentation de l'effet de serre. Ce défi a conduit les gouvernements des pays membres de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) à lancer d'importants travaux de recherche et développement dans le domaine des ER, soit un investissement total cumulé de 30 milliards de francs suisse entre 1974 et 2001. Les budgets ont fortement augmenté au cours des années 1976 à 1982, après les chocs pétroliers des années 70, pour atteindre près de 2 milliards de dol-

lars en 1980. Puis ils ont diminué et se sont stabilisés de 1986 à 2001 aux environs de 600 et 700 millions de dollars par an.

Certaines technologies renouvelables sont destinées à fournir de l'électricité, tandis que d'autres produisent de la chaleur, voire les deux formes d'énergie. Le solaire photovoltaïque reste très cher et limité à des installations isolées ou de petites puissances. D'autres formes renouvelables n'ont pas atteint un niveau de développement ou de rentabilité suffisant pour s'installer sur le marché. Il s'agit notamment de l'énergie marémotrice.

## Suisse bien placée

Le développement des ER au cours des prochaines décennies a fait l'objet de nombreux scénarios. Au cours d'un séminaire récent, le groupe de travail «Renewable Energy Working Party» de l'AIE considérait que 50% de l'énergie primaire mondiale pourrait être obtenus à partir de ressources renouvelables au milieu de ce siècle, contre 17% aujourd'hui.

Problème: la consommation globale pourrait tripler d'ici à 2050, passant de 468 à 1400 EJ/an, moyennant un taux de croissance annuel de 2,4%. Autrement dit, pour fournir les 50% visés, c'est par 9 qu'il faudra multiplier la production renouvelable actuelle. Cela ne paraît pas invraisemblable au vu des potentiels de croissance identifiés. Encore faudra-t-il disposer des moyens technologiques et, surtout, financiers à la mesure de cette ambition.

L'énergie hydraulique, qui assure 60% de sa production d'électricité, place la Suisse en excellente position en ce qui concerne l'utilisation des sources renouvelables, tout comme le niveau de valorisation de la petite hydraulique et de la chaleur de l'environnement au moyen des pompes à chaleur. En revanche, le solaire, l'énergie éolienne, la biomasse et la géothermie y sont relativement moins développés que sous d'autres cieux.

Mais la croissance de l'hydroélectricité dans notre pays est désormais limitée, les principales ressources étant équipées et les dispositions légales sur les débits résiduels ne permettant pas d'accroître la production de manière importante. Il reste cependant la possibilité d'augmenter la puissance des installations existantes.

## Tensions sur le marché

La part des NER, en revanche, ne peut qu'augmenter de manière sensible, tant leur contribution actuelle est réduite (1,7% de la production globale). D'excellentes perspectives existent pour les biocarburants qui, mélangés aux carburants classiques, permettront de réduire la consommation de produits pétroliers et les émissions de gaz à effet de serre. L'Office fédéral de l'énergie a effectué ses propres estimations du potentiel renouvelable à l'horizon 2010, accompagnées d'une évaluation à plus long terme (tableau ci-dessous).

Energies	Chaleur		Electricité		Biocarburants	
	Objectifs 2010	Potentiel à long terme	Objectifs 2010	Potentiel à long terme	Objectifs 2010	Potentiel à long terme
Solaire thermique	1,2	307,8				
Solaire photovoltaïque			0,1	66,2		
Eolienne			0,4	4,1		
Bois, charbon de bois	32,0	37,6	0,6	14,4		
Biomasse	2,0	16,0	0,8	11		
Biocarburants					0,2	19,3
Chaleur ambiante	9,8	300,2				
Géothermie	2,0	57,6	0,09	23,8		
Petite hydraulique			3,0	3,6		
<b>Total</b>	<b>47,0</b>	<b>719,2</b>	<b>4,9</b>	<b>123,4</b>	<b>0,2</b>	<b>19,3</b>

Tableau 1. Objectifs 2010 et potentiels à long terme des sources renouvelables en Suisse en PJ/an (Source: OFEN).

Les prévisions de l'OFEN sont-elles réalistes? Les ménages et les transports consomment actuellement chacun environ 30% de l'énergie finale (ou distribuée), le solde étant le fait de l'industrie et des services. Chacune de ces catégories d'utilisateurs choisit, parmi les agents énergétiques commercialisés, ceux qui correspondent le mieux à leur type d'activité. Ainsi pour les ménages, les hydrocarbures (produits pétroliers et gaz naturel) représentent près de 70% de leurs besoins, voire 96% dans le domaine des transports (tableau 2).

C'est dire si le poids écrasant des énergies fossiles pourrait poser de réels problèmes d'approvisionnement dans le futur. A quoi s'ajoutent des faiblesses inattendues dans la production d'électricité, avec des symptômes de pénurie qui se multiplient actuellement à l'échelle européenne. Les tensions qui en résultent pourraient affecter notre pays, qui n'a plus mis en service de nouvelles capacités de production importante depuis le milieu des années 80.

Pour évaluer la contribution future des ER dans un contexte général tendu, il faut connaître les technologies utilisées pour les produire. Les ouvrages hydroélectriques apportent l'essentiel de cette contribution, à laquelle s'ajoutent des fournitures non négligeables du bois-énergie, du biogaz agricole et de la valorisation énergétique des usines d'incinéra-

tion et stations d'épuration des eaux. L'ensemble de ces contributions représente 96% de l'apport des ER, la part des nouvelles énergies renouvelables étant de l'ordre de 4% (tableau 3).

La contribution des ER aux besoins suisses en 2003 s'établit à 142 PJ, soit un sixième (16,3%) de la consommation finale. Compte tenu d'une démographie appelée à augmenter et de la hausse prévisible des besoins individuels, on peut admettre que la demande globale d'énergie finale augmentera d'environ 30% à 35% au cours des 25 prochaines années, passant de 900 aujourd'hui à près de 1200 PJ en 2030, ce qui correspond à une croissance annuelle de l'ordre de 1,15%.

## Objectif 2030

Les énergies renouvelables sont bien placées pour relever ce défi, au moins partiellement. L'objectif souvent annoncé de leur contribution à hauteur de 20% à la consommation totale en 2030 exige de porter progressivement leur capacité à 240 PJ. Or on estime que l'hydroélectricité plafonnera aux alentours de 100 à 120 PJ. Ce sont donc 120 de ces mêmes petajoules que les sources renouvelables devront fournir au pays.

Les contributions pourront provenir, par ordre d'importance des apports, de la géothermie (systèmes géothermiques stimulés, roches chaudes profondes), de la biomasse et des biocarburants,

Agents énergétiques	Totaux	
	PJ/an	%
Combustibles	391	44,8
Carburants	276	31,7
Electricité	198	22,7
Autres ER*	7	0,8
<b>Totaux</b>	<b>872</b>	<b>100,0</b>

Tableau 2. Consommation d'énergie finale (en PJ) selon les catégories d'agents énergétiques en Suisse en 2003. (Source: OFEN).

Technologies	PJ/an	%/ER	%/total
Centrales hydroélectriques	100,73	70,73	11,53
Capteurs solaires -photovoltaïques -thermiques	0,05 0,90	0,04 0,66	0,01 0,12
Chaleur ambiante et géothermie	5,00	3,50	0,57
Bois, biogaz agriculture	22,00	15,83	2,58
Eoliennes	0,01	0,01	0,002
Déchets (part renouvelable)	11,00	8,07	1,30
Energie des STEP	2,00	1,16	0,19
<b>Consommation finale ER</b>	<b>141,69</b>	<b>100,00</b>	<b>16,30</b>
<b>Consommation finale totale toutes énergies confondues</b>	<b>873 PJ/an</b>		<b>100,00</b>

Tableau 3. Parts des agents énergétiques renouvelables dans la consommation finale d'énergie. (Source: OFEN).

Technologies	2030 Prospective		
	PJ/an	%/ER	%/total
Centrales hydroélectriques	120	50,0	10,0
Capteurs solaires -photovoltaïque -thermiques	2 0,5	0,8 0,2	0,2 (0,04)
Pompes à chaleur* -chaleur ambiante -géothermie conventionnelle	10 13	4,2 5,4	0,8 1,1
Géothermie SGS**	27	11,3	2,3
Utilisation de la biomasse	25	10,4	2,1
Eoliennes	1	0,4	0,1
Déchets (part renouvelable)	18	7,5	1,5
Energie des STEP	3,5	1,5	0,3
Biocarburants	20	8,3	1,7
<b>Consommation finale ER</b>	<b>240</b>	<b>100,0</b>	<b>20,0</b>
<b>Consommation finale totale</b>	<b>1200 PJ/an</b>		<b>100,0</b>

\* sans l'énergie (électrique ou thermique) d'entraînement des PAC

\*\* Systèmes Géothermiques Stimulés (Roches chaudes profondes)

Tableau 4. Contributions estimatives de ER à la consommation d'énergie finale en 2030.

puis des pompes à chaleur par la valorisation de la chaleur ambiante et de la géothermie conventionnelle, de la valorisation des déchets (incinération et épuration des eaux usées), des capteurs solaires, principalement thermiques, et des éoliennes (tableau 4).

Il s'agira, nous l'avons dit, d'un objectif très ambitieux qui suppose une volonté politique partagée, ainsi que de la prise en compte de paramètres qui vont au-delà des seuls mécanismes du marché.

\* Ingénieur physicien EPFL

## Références

International Energy Agency: *Renewable Energy. Market & Policy Trends in IEA Countries, 2004*, IEA Statistics. *Renewable Information, 2005*, Energy R&D. *Joint Seminar on long term R&D Priorities*, mars 2005. Paris.

*Statistique globale suisse de l'énergie*, 2003. OFEN.

*Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2003*. OFEN.

Euro-Observer: *Le baromètre des biocarburants*, 2004.

E. Gnansounou, S. Pasche: *La consommation énergétique en Suisse. Analyse rétrospective et prospective*, 2003.

E. Gnansounou: *Stratégie de diversification: Les biocarburants*, FRE.

A. Schleiss: *Potentiel hydroélectrique de l'arc alpin*. Bulletin SEV/VSE 2/02.

VSE-UCS: *Prévision 95 de l'approvisionnement de la Suisse en électricité jusqu'en 2030*.

A. Wokaun: *Energieperspektiven 2035/2050: Erneuerbare Energien. Vorläufige Resultate*, PSI.

G. Sarlos, P.-A. Haldi, P. Verstraete: *Systèmes énergétiques*, PPUR. 2003.

A. Wokaun: *Anforderungen an ein nachhaltiges Energiesystem*, PSI.

P. V.