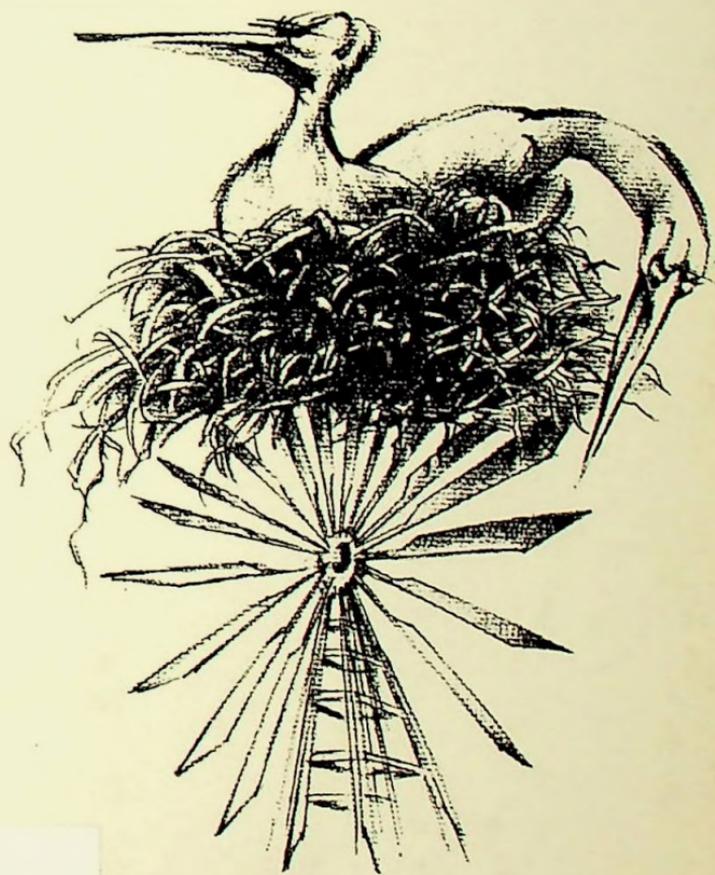


les énergies de l'alsace

projet alter



SYROS

La France des points chauds

les énergies de l'alsace

projet alter

ALSA

P. Simon

*des énergies
pour l'Alsace*

Responsable de la collection : Christophe Wargny
Dessin : Cagnat
Maquette de couverture : Maxence Scherf

Syros, 6 rue Montmartre, 75001 Paris

Projet Alter

des énergies
pour l'Alsace

SYROS

Syros, 1983. I.S.B.N. 2-86738-005-7

COLLECTION
LA FRANCE DES POINTS CHAUDS

dirigée par
Christophe WARGNY

P. BARGE, J.-R. BARTHELEMY, D. LORRAIN,
M. MICHEAU et J.-F. LANGUMIER
L'intervention économique de la commune

ROLAND BERPERRON
On a sauvé l'école du village

THIERRY BOMBLED
Devine qui va parler ce soir ?
(petite histoire des radios libres)

LOUIS CAUL-FUTY et MICHEL LOUIS
Ça bouge dans les quartiers (*épuisé*)

COLLECTIF FEMMES
Lip au féminin

COLLECTIF FEMMES
18 millions de bonnes à tout faire
(Le livre noir du travail des femmes)

COLLECTIF LIP
Lip : Affaire non classée (*épuisé*)

YVAN CRAIPEAU
Le pouvoir à prendre

C.S.C.V.
Energies : des choix pour mieux vivre

BERTRAND DE LAUNAY
Le poker nucléaire

FGA - CFDT
La Biomasse - Energie verte

LES GRACQUES
Pour réussir à gauche

GABRIEL GRANIER
Requiem pour une médecine
La Sécurité sociale, des idées pour demain

THIERRY JUND
Le nucléaire contre l'Alsace (*épuisé*)
Des énergies pour l'Alsace

ROGER MENIN
La foire aux médicaments

CLAUDE MICHEL
Toutes les mêmes

J.-Y. ROGNANT, C. ROMAIN, F. ROSSO
Où va la sidérurgie ?

CLAUDE-MARIE VADROT
L'écologie : histoire d'une subversion

CHRISTOPHE WARGNY
Louviers : sur la route de l'autogestion ?
Mairies frappées d'autogestion

TABLE DES MATIERES

<i>Avant-propos</i>	15
<i>Glossaire technique</i>	11
Chapitre I : LESOLEIL DEL'ABONDANCE	19
I. Matières premières et énergie	19
II. Le soleil, seule source d'énergie	22
III. Une région autonome en énergie	25
IV. Evaluer les besoins	30
Chapitre II : UTILISER LESOLEIL	39
I. Les formes de l'énergie	40
II. Les filières solaires	46
III. Un scénario à long terme	90

Chapitre III : UN SCENARIO SOLAIRE POUR L'ALSACE.....	95
I. Les besoins énergétiques de l'Alsace .	96
II. Les ressources du soleil en Alsace ...	113
III. Le bilan	144
 Chapitre IV : UNE FENETRE OUVERTE SUR DEMAIN.....	 157
I. Un autre paysage	157
II. Les transitions vers demain	160
III. Les obstacles	188
IV. Les atouts	196
 <i>Annexe</i> : projet pour l'« Agence Energie Alsace »	 201
<i>Bibliographie</i>	211

AVANT-PROPOS

L'Association Projet Alter Alsace, regroupant de nombreuses associations et organisations socio-politiques¹, ainsi qu'un certain nombre de scientifiques, œuvre depuis quelques années au développement des énergies renouvelables en Alsace. Consciente de l'importance des problèmes auxquels se heurte leur mise en œuvre, elle s'est attachée dès le début à mener des réalisations concrètes avec la collaboration de certaines communes et de nombreuses personnes motivées.

C'est ainsi qu'ont vu le jour différents projets, dont les plus importants sont les projets de chauffage géothermique à Lutterbach² et de récupération des sous-produits d'exploitation de la forêt du Nonnenbruch².

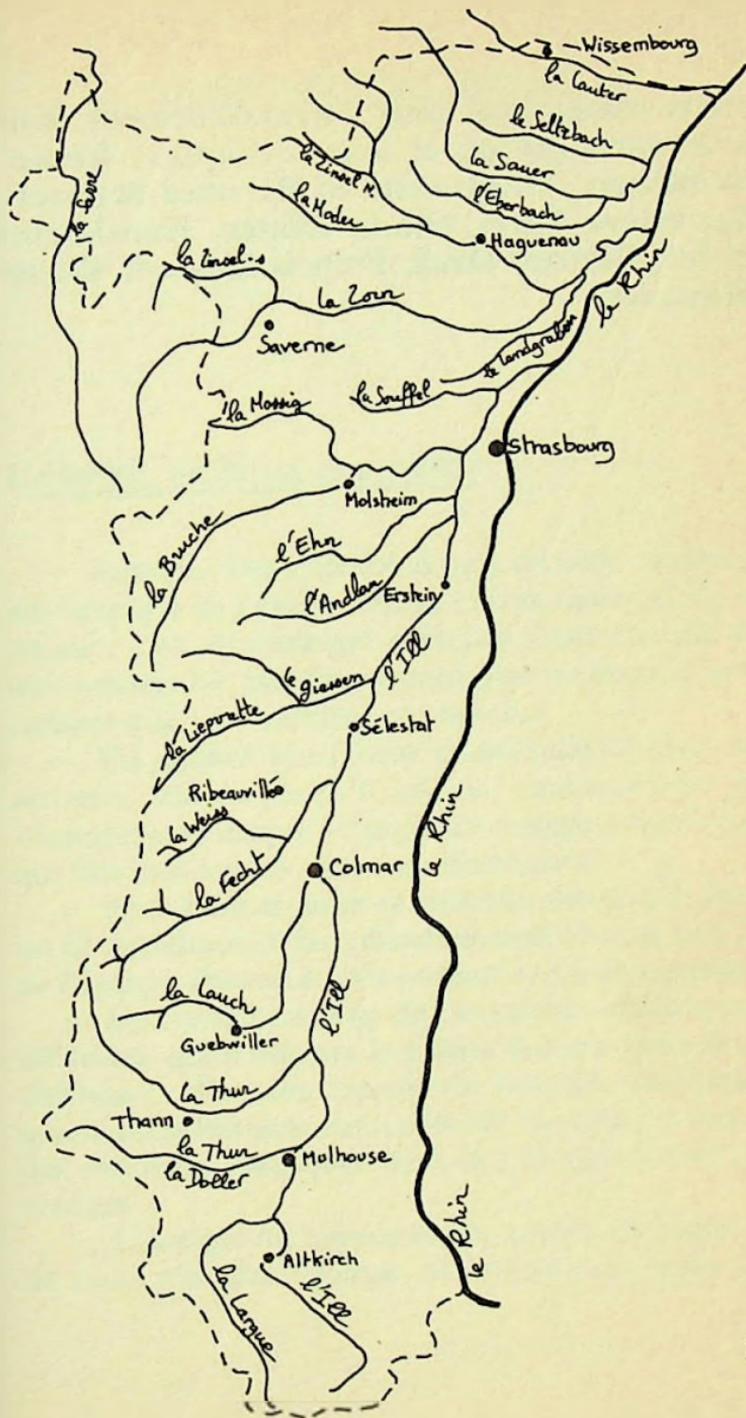
¹ Association de Défense des Usagers et Consommateurs (U.F.C. Que choisir ?), Comité de Sauvegarde de Fessenheim et de la plaine du Rhin, Fédération Antinucléaire des Environs de Fessenheim, Fédération des Elus Autogestionnaires, Groupement Ecologique d'Outre Forêt, Mouvement Rural de la Jeunesse Chrétienne, Parti Socialiste Unifié, Association Sel et Regain, Syndicat Général de l'Education Nationale, Syndicat des Paysans-Travailleurs, Association Vie Nouvelle.

² à proximité de Mulhouse.

Mais le temps est long entre le moment où est conçu un projet et celui où sa mise en œuvre est achevée. Et l'urgence d'une véritable politique énergétique régionale ne peut s'accommoder d'une telle lenteur. Pour que les Alsaciens disposent des informations nécessaires sur les énergies de leur région, le Projet Alter Alsace a mené une réflexion d'ensemble sur les possibilités des énergies solaire, hydraulique, éolienne et de la biomasse en Alsace, les conditions de leur mise en œuvre et les choix qu'elles impliquent.

C'est cette réflexion qui est proposée dans cet ouvrage. Elle s'adresse à toutes celles et tous ceux, d'Alsace ou d'une autre région, pour qui demain se conjugue au présent. Ceux pour qui l'Alsace n'est pas assez ensoleillée pour que l'énergie solaire n'y joue pas qu'un rôle d'appoint ; ceux pour qui le solaire demande trop de surface ou ceux pour qui le solaire, au contraire, c'est du passé ; tous ceux qui donc sont sceptiques à l'égard des énergies tirées du soleil pourront trouver dans ce livre les raisons suffisantes pour changer de point de vue : *l'Alsace est riche de ses énergies.*

les auteurs : Thierry Delarochelambert, professeur de sciences physiques
Michel Pierre, ingénieur chimiste
Camille Munsch, ingénieur agronome
François Walgenwitz, ingénieur géologue.



Nous remercions plus particulièrement pour leur participation et leurs critiques : Renée Schaffner, Marguerite et Bernard Munsch, Geneviève Ancel, Othon Winter, Jean-Michel Soller, Bernard Daull, Francis Massart, Valérie Wassmer.

GLOSSAIRE TECHNIQUE

L'énergie, qu'est-ce que c'est ?

– Lorsque l'eau tombe d'une certaine hauteur, elle acquiert de l'énergie du fait de sa masse et de sa vitesse ; c'est de l'énergie *cinétique*. Cette énergie de mouvement est facilement convertie en énergie *mécanique* par une turbine, un moulin.

– Un aimant placé près d'une bille d'acier, en attirant celle-ci jusqu'à lui, lui communique de l'énergie magnétique ; c'est cette énergie *magnétique* qui fait tourner les moteurs électriques.

– Pour faire circuler un courant électrique dans un fil métallique, il faut constamment fournir à ce fil de l'énergie *électrique* en le soumettant à une tension.

– Une pile contient des produits chimiques différents qui n'ont pas la même énergie potentielle *chimique* ; elle peut fournir de l'énergie électrique quand on la branche sur un circuit car ceci provoque des réactions chimiques dans la pile qui délivre du courant.

– L'énergie du rayonnement solaire est capable de nous chauffer (énergie *thermique*), de créer un

courant dans une photo pile ou des réactions biochimiques dans les cellules d'une plante verte : c'est une énergie électromagnétique.

- Si le soleil brille, c'est parce que l'hydrogène qu'il contient est tellement comprimé qu'il fusionne en hélium en dégageant de l'énergie nucléaire de fusion ; heureusement pour nous ce réacteur nucléaire naturel se trouve à 150 millions de kilomètres de nous.

L'énergie peut donc avoir des origines diverses ; elle existe sous des aspects différents, équivalents les uns aux autres : énergies cinétique, mécanique, électrique, magnétique, électromagnétique, thermique, chimique, nucléaire.

Les unités pour mesurer l'énergie

- Le *joule* (J) est l'unité internationale d'énergie ; c'est une petite unité : par exemple, l'énergie d'un kilogramme d'eau qui tombe de dix centimètres.

- Le *kilowatt-heure* (kwh) est l'énergie consommée par un appareil électrique de 1000 watt pendant une heure ; cette unité peut être employée pour mesurer n'importe quelle énergie, pas nécessairement électrique, comme le joule.

- La *calorie* (cal), encore en usage, représente la chaleur qu'il faut apporter à un gramme d'eau pour élever sa température de 14,5 °C à 15,5 °C.

- La *thermie* (th) équivaut à un million de calories.

- La *tonne-équivalent-pétrole* (TEP) est l'énergie thermique dégagée par la combustion totale d'une tonne de pétrole moyen.

- Le *mégawatt-heure* (Mwh) vaut 1 000 kwh ; le *térawatt-heure* (Twh) vaut un milliard de kwh.

- La *kiloTEP* (kTEP) vaut mille TEP ; la *méga-TEP* (MTEP) vaut un million de TEP.

Les équivalences entre énergies et unités

- 1 TEP = 11600 kwh physiquement ; mais si le pétrole est brûlé dans une centrale thermique pour faire de l'électricité, les pertes très importantes font qu'une TEP ne produit que 4500 kwh d'énergie électrique. C'est la valeur communément admise.

- 1 th = 1,16 kwh ; 1 TEP = 10000 th ;
1 cal = 4,18 J

La puissance et ses unités

- Un moteur électrique capable de monter une même charge d'une même hauteur deux fois plus vite qu'un autre moteur est deux fois plus puissant que celui-ci.

- La puissance, c'est le rapport de l'énergie sur le temps.

- Le watt (w) est l'unité internationale de puissance. 1 w = 1 J/s

- Le kilowatt (kw) vaut 1000 w . le mégawatt (Mw) vaut un million de watts.

- Une usine hydroélectrique de 100 Mw qui fonctionne pendant 4000 heures à pleine puissance produit une énergie électrique de 100 Mw.
 $4\ 000\ h = 400\ 000\ \text{wh}$ (ou 400 millions de kwh).

CHAPITRE I

le soleil de l'abondance

I – Matières premières et énergie

L'histoire et la civilisation humaine ont été constamment marquées par les moyens que les hommes ont utilisés ou inventés pour vivre ensemble, satisfaire leurs besoins matériels et leur curiosité, comprendre et utiliser leur environnement. Il est frappant de constater que les grandes étapes de la civilisation coïncident avec la mise en œuvre de nouvelles énergies entraînant l'apparition de nouvelles techniques : la domestication du feu de bois a créé le foyer, l'âtre, la vie collective des tribus et permis l'agriculture ; l'avènement du charbon a conditionné l'essor industriel par la puissance des machines à vapeur et des haut-fourneaux. La révolution pétro-

lière a créé la société de la chimie, du plastique, des médicaments, du déplacement automobile, de l'aventure spatiale et de l'informatique.

Et ces développements ont, à leur tour, nécessité et entraîné la recherche de matières premières propres à satisfaire l'émergence de techniques toujours plus performantes et variées.

Ainsi toutes les activités humaines nécessitent-elles à la fois énergie et matières premières, permettant le travail de milliards d'hommes.

La période qui s'est ouverte aujourd'hui remet en cause la domination du pétrole, mais s'accompagne aussi de l'émergence des pays du tiers-monde et d'une conscience planétaire de la rareté : celle des énergies fossiles (charbon, pétrole, uranium) et celle des matières premières, dont les stocks naturels s'épuisent (voir tableau ci-dessous).

Energies fossiles	Réserves totales	Durée
Pétrole	91 milliards de tonnes	30 à 60 ans
Gaz naturel	73 830 milliards de m ³	50 à 150ans
Charbon	10 125 milliards de tonnes	600 ans
Uranium	5 millions de tonnes	30 à 160ans

Sources : OCDE, CdF, Comité professionnel du pétrole

Les utilisations du pétrole, du charbon et du gaz naturel comme sources d'énergies deviennent de plus en plus concurrentes de leurs utilisations comme matières premières pour la chimie : matières plasti-

ques, tissus, caoutchoucs, matériaux de construction, médicaments etc... Ces tensions, ces contradictions iront nécessairement croissant jusqu'à l'épuisement de ces ressources. Elles se répercuteront obligatoirement sur les prix et sur le marché des ressources fossiles. Le risque est grand que naissent de ces tensions des conflits de nature géopolitique entre pays producteurs et consommateurs, entre pays du Tiers Monde et à l'intérieur de chaque pays pauvre.

En regard de ces sombres perspectives, l'énergie solaire offre un recours rassurant et plein de promesses : inondant la planète entière de son rayonnement, le soleil est là pour tous, habitants d'Afrique, d'Asie, d'Amérique, d'Europe et d'Océanie.

Utiliser l'énergie solaire est nécessaire à long terme ; elle est la seule énergie capable d'assurer sans risque technologique, sans tension géopolitique, l'approvisionnement total de chaque pays en énergie, en matières premières carbonées et en aliments pour le temps que durera la terre. Elle est la seule énergie qui soit entièrement *maîtrisable* par tous les peuples de notre planète, car ses technologies sont simples pour la plupart, réalisables partout, faciles à contrôler et à mettre en œuvre quel que soit le niveau technique du pays. Son abondance est telle qu'en aucune manière, ses utilisations pour l'alimentation humaine, pour la fourniture de matériaux et d'énergie ne seront en concurrence : *il n'y a pas de rareté possible du soleil.*

II - Le soleil, seule source d'énergie

Les énergies fossiles sont aussi des énergies solaires

Lorsque les forêts de l'ère primaire ont été englouties sous les mers et les terres, lorsque les organismes marins se sont déposés au fond des océans, il y a des millions d'années, pour se transformer en charbons, pétroles et gaz sous l'effet de la pression, des bactéries et du temps, c'est l'énergie du soleil de cette époque qui s'est stockée sous le sol. C'est cette richesse accumulée pendant quelques centaines de millions d'années que nos sociétés sont en train de dévorer en l'espace de quelques dizaines d'années.

Les stocks d'uranium enfermés dans le sous-sol de quelques pays se sont formés, quant à eux, il y a quelques milliards d'années, lorsque la terre était encore chaude et liquide, par migration des matières radioactives du centre vers la surface terrestre où elles se sont solidifiées avec les roches. Ces réserves fossiles ne sont donc pas issues du rayonnement solaire mais, comme les autres énergies fossiles, elles ne se renouvellent plus.

le rayonnement solaire

Bien que le soleil soit à 150 millions de km de la terre, la petite partie de son rayonnement qui nous

arrive est considérable. Quelques chiffres et comparaisons suffisent pour le comprendre immédiatement :

a) La *puissance* rayonnée par le soleil dans la haute atmosphère est d'en moyenne 1350 watts ¹ par m² de surface ; après traversée de l'atmosphère, par beau temps, la puissance directe reçue par le sol lorsque le soleil est au zénith est de l'ordre de 1000 w/m². Par ciel couvert, elle tombe à 250 w/m² en milieu de journée. Mais le rayonnement diffus est également important : de 100 à 200 w/m², de plus il peut grimper à 400 w/m² par temps d'orage.

b) Mais le soleil ne brille pas constamment dans notre ciel avec la même intensité : l'alternance des saisons, des jours et des nuits fait que l'*ensoleillement* est différent à chaque point du globe : le soleil brille 1578 heures à Strasbourg, 1760 heures à Colmar, 1802 à Mulhouse, 2917 à Toulon (données annuelles).

c) Si l'on fait le compte de l'*énergie* totale reçue du soleil par m² de surface pendant toute l'année, il apparaît que sa répartition est assez équitable sur l'ensemble du globe : ainsi, l'énergie reçue annuellement à Strasbourg est-elle de 1188 kwh/m²(1) et de 1525 kwh/m² à Marseille, alors que la région la plus ensoleillée du globe reçoit 2400 kwh/m².

1 voir glossaire technique, p. 15

Si l'on totalise maintenant l'énergie solaire reçue sur l'année par le territoire français, cela équivaut à 7.10^{14} kwh (700 000 milliards de kwh), soit 3000 fois la production électrique annuelle française.

A l'échelle du monde entier, un simple chiffre donne toute la dimension du « gisement » solaire : il suffirait de convertir 10 % de l'énergie reçue du soleil sur un carré de 600 km de côté pour assurer la totalité de la consommation mondiale d'énergie !

d) Une énergie intermittente et variable : si l'énergie rayonnée directement par le soleil est maximale en été, c'est pourtant en hiver que la consommation d'énergie des pays tempérés, comme la France, est

**Energie solaire reçue à Strasbourg sur une surface de
1 m² inclinée à 45° vers le sud**

mois	wh/jour théorique	wh/jour réel	kwh/mois
J	4334	1690	52,4
F	5666	2606	73
M	6779	3864	119,8
A	7095	4044	121,4
M	7009	4205	130,3
J	6925	4155	124,6
J	7009	4205	130,4
A	7095	4399	136,4
S	6779	3932	118
O	5666	2890	89,6
N	4334	1690	50,7
D	3535	1272	39,4
			Total
			1186

maximale. L'écart d'énergie reçue entre août et décembre atteint un facteur de 3,5 en Alsace.

L'utilisation à grande échelle du solaire requiert donc un *stockage* de cette énergie sur des durées pouvant varier de 24 heures à 6 mois selon les usages. Les techniques actuelles le permettent déjà ; nous les envisagerons plus en détail dans le développement de notre scénario (chapitres 2 et 3). Retenons-en simplement ici les principes :

- l'accumulation de *chaleur* par des matériaux absorbant isolés ;

- l'accumulation d'*énergie chimique* : dans les piles pour le stockage de l'électricité solaire ; dans les combustibles gazeux, liquides et solides extraits des végétaux ;

- l'accumulation d'*énergie potentielle* en retenant ou en pompant l'eau dans de nombreux barrages.

III – Une région autonome en énergie

L'économie régionale

Si les hommes et l'énergie sont les moteurs de l'économie, ce sont eux aussi qui font vivre une région. Une économie régionale prend ici tout son sens : elle devient évidente et nécessaire.

Ce sont les habitants d'une région qui sont le mieux à même de prendre les décisions nécessaires au développement de la région. Le respect des spécificités locales et le souci de l'équilibre humain sont les conditions de l'*équilibre régional* : il se construit sur la relance des économies de montagne, de plaine et de vallée ; l'utilisation et la transformation sur place des ressources naturelles ; la réactivation des transports locaux ; la revitalisation des zones délaissées par l'aide à l'installation de jeunes agriculteurs, d'artisans, de commerçants, de petites industries, et le maintien sur place des services publics.

Développer les énergies régionales devient alors à la fois un moyen de développement régional (construction, mise en œuvre, services, maintenance, recherche, formation) et un facteur de rationalisation des circuits de distribution d'énergie, de matières premières et alimentaires. Il est plus économique et rationnel de consommer une énergie produite sur place, car il n'est plus besoin de la transporter sur des centaines de kilomètres. Les investissements ne sont plus engloutis dans ce transport, mais injectés dans les stockages sur place, dans la mise en place de systèmes de production et de distribution locaux implantés sur tout le territoire régional. On ne construit plus une immense centrale qui débite ses kwh sur le réseau 400 000 volts vers Paris ; on construit une myriade de chauffages solaires collectifs et individuels, des installations de stockage, des unités dispersées de production de combustibles naturels, une multitude d'éoliennes alimentant les fermes isolées, les réseaux électriques locaux.

Et pourtant, l'idée même d'une économie régionale reste encore étrangère aux mentalités et aux structures centralisatrices d'aujourd'hui. Le bilan de deux siècles de centralisme ne parle-t-il pas de lui-même ? Des régions entières en Auvergne, en Catalogne, en Bretagne ont été dépeuplées, délaissées par les grands moyens de communication, et leurs ressources peu exploitées. Elles survivent tant bien que mal à côté de métropoles surpeuplées, concentrant les usines dans de grandes zones industrielles et les hommes dans de grandes cités-dortoirs. Les déplacements sont de plus en plus longs, pénibles et coûteux du domicile au travail. Les transports de vivres, de matières premières et d'électricité prennent une ampleur démesurée pour approvisionner les concentrations urbaines. On transfère les hommes avec les machines au gré des implantations ou des fermetures d'usines voulues par des décideurs nationaux ou multinationaux.

L'Alsace n'est pas épargnée et souffre depuis longtemps de ce centralisme : la disparition de l'industrie textile, autrefois richesse de notre région, a vidé beaucoup de vallées vosgiennes de leurs habitants, entraînant la suppression des liaisons ferroviaires, la fermeture de classes dans leurs écoles ; beaucoup de temps a été irrémédiablement perdu à attendre d'en haut des décisions qui permettraient de diversifier les activités des Mines de Potasse d'Alsace (M.D.P.A.) avant leur fermeture inéluctable, ou qui donneraient à la Cellulose de Strasbourg un nouveau souffle et à la filière bois de nouvelles perspectives de développement et d'emplois.

Ces déséquilibres qui se sont installés profondément dans la région sont d'autant plus durement ressentis qu'ils rendent son économie vulnérable à la crise du pétrole et à ses répercussions sur l'emploi. Il est urgent de rétablir les équilibres de la région pour lui donner les moyens d'affronter la crise des énergies fossiles sur des bases solides. C'est alors que prend toute sa valeur la notion d'autonomie énergétique régionale.

L'autonomie énergétique est possible en Alsace

Si l'Alsace semble moins ensoleillée que la plupart des régions françaises, un rapide calcul nous permet de situer d'emblée le problème de l'autonomie en énergie.

L'Alsace reçoit en moyenne 1220 kwh du soleil sur chaque m² de son territoire chaque année ; ceci représente l'équivalent de 870 millions de tonnes de pétrole (MTEP)² par an pour toute l'Alsace, dont les besoins annuels sont d'environ 5,3 MTEP.

Il suffirait de convertir l'énergie solaire avec un rendement de 0,6 % pour couvrir tous nos besoins, à condition d'utiliser toute la surface de l'Alsace ; ou encore de n'utiliser qu'un dixième du territoire alsacien avec des rendements de 6 %.

² voir glossaire technique, p.15

Or, les techniques actuelles nous offrent d'ores et déjà des rendements confortables de 1 à 6 % pour la biomasse (voir chapitre 2, partie II), de 10 à 15 % pour les photopiles, de 60 % pour les capteurs solaires. Tout est alors possible et c'est l'objet de notre étude de voir si notre région, comme toute autre région, peut satisfaire ses besoins à partir du soleil et selon quelles techniques.

Les échanges interrégionaux

Tant d'un point de vue énergétique qu'alimentaire ou culturel, les régions ont leur caractère, leur spécificité. Dans un régime économique décentralisé et marqué par l'autonomie énergétique, il reste une place humainement et économiquement importante à l'exportation d'énergie ou de matière première et alimentaire. L'Alsace est caractérisée par une forte hydraulité et une grande production forestière sur le plan énergétique ; par des produits agricoles spécifiques appréciés (choucroute, vin...) sur le plan alimentaire. Et il en est de même pour chaque région : la Bretagne est riche de vent et de mer ; le Sud est riche d'ensoleillement ; le Centre de cours d'eau et de verdure etc...

Si les échanges interrégionaux sont réduits au nécessaire de manière à éviter le gaspillage dû au transport, à l'embouteillage, ils incluent aussi ces échanges de produits alimentaires ou spécifiques qui

ont une valeur culturelle et une dimension de solidarité interrégionale par laquelle chaque région peut compenser les déficits d'une autre dans telle production énergétique. Ainsi, autonomie devient-elle également complémentarité.

IV – Evaluer les besoins

Toute activité humaine demande de l'énergie : pour vivre, pour créer, penser, fabriquer, se déplacer. Toutes ces demandes d'énergie, individuelles et collectives, émanant d'une société toute entière peuvent être additionnées les unes aux autres et constituent alors les besoins de consommation d'énergie à l'échelle de la région, du pays ou du globe. La difficulté d'une évaluation de ce que seront les besoins d'une population dans 10, 50 ou 100 ans provient essentiellement de la confusion entre les *besoins réels* – inhérents à l'organisation sociale des individus, leur niveau de vie et d'échanges, l'existence de techniques adaptées aux activités humaines – et les *surconsommations* nées du gaspillage, de l'inadaptation des outils aux activités, de besoins artificiels, de comportements socio-économiques irrationnels (jeter ; prendre sa voiture pour faire cent mètres ; laisser les fenêtres ouvertes en hiver ; chauffer des locaux à l'électricité).

C'est cette confusion qui a entraîné les déboires de la plupart des prévisions énergétiques élaborées plus ou moins honnêtement jusqu'à aujourd'hui et toutes fondées sur la logique d'une croissance dont on constate les limites.

Les prévisions manquées

Il est remarquable de constater à quel point les « experts » et « spécialistes » officiels ont le plus souvent péché par excès dans l'établissement des prévisions de consommations d'énergie.

Pour ne retenir qu'un exemple, nous donnons ci-dessous les prévisions successives qui ont été faites depuis 1970 sur le probable niveau de la consommation française en 1985. Les chiffres parlent d'eux-mêmes.

Prévision faite en ...	En 1985, la France devrait consommer :
... 1970 (6 ^e Plan)	300 millions de TEP
... 1973 (6 ^e Plan en cours)	284 millions de TEP
... 1974 (Plan Messmer)	240 millions de TEP
... 1975 (7 ^e Plan)	232 millions de TEP
... 1978 (7 ^e Plan en cours)	230 millions de TEP
... 1978 (loi-programme)	215 millions de TEP
... 1980 (8 ^e Plan)	219 millions de TEP
... 1981 (rapport Hugon)	197 millions de TEP
... 1982 (9 ^e Plan)	193,6 millions de TEP

La révision en baisse atteint donc 35 % entre la prévision de 1970 et celle de 1980. A un tel niveau, on ne peut plus parler d'erreur, mais de faute par imprudence et/ou de malhonnêteté : le mythe de la croissance en est pour une part responsable.

L'enseignement que l'on peut en tirer est de plusieurs ordres :

- il est plus qu'hasardeux de prétendre pouvoir prédire les comportements individuels et collectifs des consommateurs et d'une société trop longtemps à l'avance : tant d'événements peuvent surgir, qui remettent en cause des données jugées auparavant inébranlables (choc pétrolier, nucléaire ; conflit international ; crise économique ; banqueroute...);
- une simple projection des tendances et des habitudes en matière de consommation et d'énergie sur dix ans ou plus n'est qu'un exercice de style inutile, puisqu'elle ignore toute évolution possible de ces tendances ou de ces habitudes ;
- une prévision n'est pas innocente quand elle émane de ceux-là même qui ont intérêt au maintien d'un modèle de société qui les arrange.

La question démographique

Combien serons-nous en 1990, 2000, 2050 et plus tard en France ou en Alsace ?

Il est là aussi très difficile de prévoir des compor-

tements sociaux dans un domaine qui touche très souvent aux mœurs, à l'économie, à l'image de la famille et aux concepts socio-politiques d'un moment.

Le Projet Alter ne prévoit donc pas telle ou telle évolution, mais prend comme souhaitable l'hypothèse d'une *stabilisation de la population à long terme*. Au niveau national, cela se traduit par un niveau de population de 60 millions d'habitants. On retiendra pour l'Alsace le niveau de 1,8 million d'habitants (1,5 million en 1975).

Une telle hypothèse correspond à une vision équilibrée, stable, des rapports des hommes avec la nature. Et si l'on observe simplement les tendances actuelles, notre hypothèse est probablement surévaluée, ce qui ne peut que la conforter.

Consommer moins d'énergie et vivre mieux

Nous appellerons « long terme » les années qui verront l'épuisement des ressources fossiles. Pour fixer les idées, nous les situons vers l'an 2050.

Définir un niveau de vie à long terme est une gageure : quelles seront les habitudes de travail, de déplacement, de consommation ? Quelles seront les possibilités techniques offertes par le progrès scientifique et technologique ? Quel sera l'impact social de la micro-informatique ou des réseaux de communication par câble à fibres optiques ?...

Nous nous situerons donc d'emblée dans une toute autre optique : quel niveau de vie et de consommation nous paraît souhaitable à long terme et quelle répartition sociale doit-il avoir ?

Ceci nous oblige alors à choisir quelques hypothèses générales sur la répartition des biens matériels dans la société des années 2050. Ces hypothèses sont celles du Projet Alter français qui a été élaboré en 1978 par le groupe de Bellevue³, qui rassemble des chercheurs et des scientifiques du CNRS, du Collège de France, d'EDF et de l'INRA⁴ et dont certains membres ont actuellement des responsabilités dans la définition de la politique du pays.

Nous reprenons aujourd'hui ces hypothèses à notre compte, car elles nous semblent une base matérielle acceptable, raisonnable et souhaitable pour la société de demain : chacun jouit d'un confort et d'un niveau de consommation qui n'est accessible aujourd'hui qu'au tiers le plus favorisé de la population, ce qui correspond à *un niveau de vie moyen plus élevé qu'actuellement*. Les biens matériels sont répartis de manière équitable.

Les hypothèses de calcul sont résumées ci-dessous :

³ Projet Alter, esquisse d'un régime à long terme tout solaire, éditions Syros.

⁴ Centre National de la Recherche Scientifique, Institut National de la Recherche Agronomique.

Surface du logement	100 m ² par ménage de 3 personnes au lieu de 70 m ² en 1975
Surface des locaux tertiaires (écoles, hôpitaux, bureaux etc...)	1,3 fois la surface de 1975 par habitant
Consommation de produits courants (entretien, alimentation...)	1,3 fois la consommation de 1975 par habitant
Équipement en bien durables (ameublement, électroménager...)	1,5 fois le niveau de 1975
Durée de vie des produits	2 fois plus longue qu'en 1975
Véhicules automobiles	1 pour 1,5 personne en moyenne au lieu de 0,7 en 1975

Les principes d'un régime d'autosubsistance énergétique

Depuis deux siècles, les sociétés occidentales vivent sur le modèle de la croissance industrielle liée à la croissance des besoins énergétiques.

Ce modèle subit aujourd'hui une grave crise et doit faire place à un modèle fondé sur un équilibre post-industriel stable, économisant les ressources non renouvelables, respectant les équilibres naturels de la biosphère, instaurant des relations équitables entre tous les pays du globe.

Dans notre prospective à long terme, l'économie de matières premières et d'énergie est systématique, le gaspillage éliminé au maximum ; les échanges économiques extérieurs et interrégionaux sont minimisés et l'activité industrielle est ajustée aux besoins réels de la population.

Nous avons donc intégré à l'ensemble de nos calculs ces données économiques et rationnelles : la récupération et le recyclage des déchets (papier, verres, métaux, matières plastiques) sont complets ; l'isolation et la régulation sont généralisées. Ceci se traduit par une économie d'énergie de plus de 30 %, compte tenu de l'augmentation du niveau de vie de la population.

Les quelques exemples suivants montrent l'importance de l'économie d'énergie réalisée par le recyclage de la matière :

Besoins en matières premières et énergie pour fabriquer 1 tonne de papier

Apports	Papier de première qualité	Papier courant	Papier recyclé
en bois	5,3 m ³	3,8 m ³	vieux papiers
en eau	jusqu'à 440 m ³	jusqu'à 280 m ³	jusqu'à 1,8 m ³
en énergie	7600 kwh	4750 kwh	2750 kwh

Source : CSCV

Ainsi, recycler 1 tonne de papier épargne 15 à 20 arbres, économise 60 % d'eau et 3500 kwh. De même, il faut consommer 5,1 TEP pour produire 1 tonne d'aluminium, alors que le recyclage d'une même tonne d'aluminium ne demande que 0,19 TEP.

Dans notre perspective d'auto-subsistance et d'auto-développement, ces orientations vers l'économie systématique ne sont plus des décisions prises sous la contrainte des événements, mais *un choix rationnel délibéré*, qui replace l'homme-consommateur dans les cycles naturels de la matière.

L'énergie est une marchandise

Elle peut se mesurer en TEP, en francs et devises et en heures de travail.

C'est une marchandise qui nécessite de l'énergie et du travail pour sa production, son transport et sa transformation :

- . le transport du pétrole en bateau coûte 7 % de sa valeur énergétique,
- . le transport de l'électricité consomme 6 à 9 % de cette énergie,
- . la paille demande 2,5 % de son contenu énergétique pour être ramassée.

CHAPITRE II

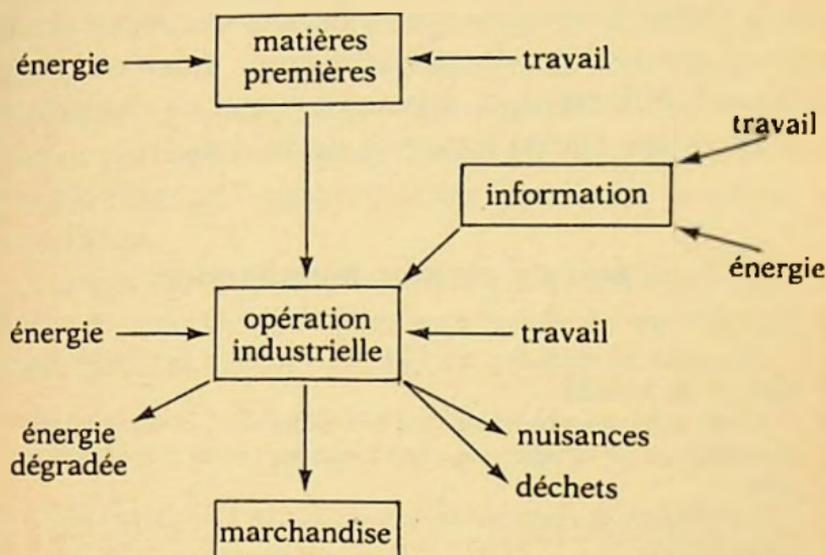
utiliser le soleil

Brosser le tableau des ressources en énergie renouvelable dont l'Alsace dispose ; savoir ce que seront les besoins énergétiques des Alsaciens à long terme et sous quelles formes l'énergie sera transportée et utilisée : tout ce travail de prospective demande un exposé clair et rigoureux pour que chacun puisse en appréhender toutes les dimensions et les conséquences. C'est pour satisfaire cette exigence que nous nous proposons ici de prendre connaissance des « outils » dont nous allons nous servir tout au long de ce document.

Nous examinerons dans un premier temps quelles sont les formes de l'énergie dans une société humaine ; nous exposerons ensuite les techniques utilisables aujourd'hui pour capter, stocker et transformer les énergies renouvelables, en dégagant, pour chacune, ses intérêts, ses contraintes et ses promesses.

Tout est énergie et emploi

Pour élaborer ou transformer un produit, toute activité industrielle nécessite, à chaque stade de fabrication, de l'énergie et du travail, c'est-à-dire des emplois.



Chaque produit, chaque activité, peut donc être caractérisé par un *contenu énergétique*.

1 tonne d'acier	« contient » 0,5 à 0,6 TEP
1 tonne de verre	« contient » 0,6 TEP
1 tonne de plastique	« contient » 1,7 à 2,2 TEP

CHAPITRE II

utiliser le soleil

Brosser le tableau des ressources en énergie renouvelable dont l'Alsace dispose ; savoir ce que seront les besoins énergétiques des Alsaciens à long terme et sous quelles formes l'énergie sera transportée et utilisée : tout ce travail de prospective demande un exposé clair et rigoureux pour que chacun puisse en appréhender toutes les dimensions et les conséquences. C'est pour satisfaire cette exigence que nous nous proposons ici de prendre connaissance des « outils » dont nous allons nous servir tout au long de ce document.

Nous examinerons dans un premier temps quelles sont les formes de l'énergie dans une société humaine ; nous exposerons ensuite les techniques utilisables aujourd'hui pour capter, stocker et transformer les énergies renouvelables, en dégagant, pour chacune, ses intérêts, ses contraintes et ses promesses.

I - Les formes de l'énergie

Lorsque vous vous déplacez en voiture, vous utilisez des énergies : le mouvement de votre véhicule est l'*énergie finale*, c'est la forme de l'énergie dont vous avez besoin ici pour cet usage. L'essence qui fait tourner le moteur est le *vecteur d'énergie* qui vous a été distribué par le pompiste. Et cette essence est le produit d'un nombre important d'opérations industrielles, élaboré à partir d'une *énergie primaire*, aujourd'hui le pétrole.

Etudions plus en détail ces trois formes de l'énergie :

Les énergies primaires

Ce sont les énergies telles que la nature nous les offre. Les énergies primaires exploitées de manière dominante sont à 90 % des énergies non renouvelables : pétrole, gaz naturel, charbon, uranium. Les énergies de demain seront, pour le Projet Alter, exclusivement renouvelables : rayonnement solaire, énergie de l'eau, énergie du vent, énergie des marées, énergie des plantes. L'énergie géothermique est aussi une énergie primaire, mais son temps de renouvellement est trop long localement (de l'ordre d'un à plusieurs siècles) pour être considérée comme renouvelable à l'échelle de l'année ou même d'une génération.

Les vecteurs d'énergie

Ce sont les formes d'énergie qui sont distribuées aux utilisateurs pour être consommées. Elles se regroupent en trois catégories :

– les combustibles (sous forme solide notés CS, sous forme liquide notés CL, sous forme gazeuse notés CG) ;

– la chaleur (basse température ou BT jusqu'à 100° C ; moyenne température ou MT, de 100° C à 600° C ; haute température ou HT, à plus de 600° C) qui peut être distribuée par réseau d'eau chaude par exemple ;

– l'électricité distribuée par réseaux ou accumulateurs, piles etc.

Actuellement, les combustibles sont essentiellement le charbon, le gazole, les essences, les fuels, les kérosènes, le gaz naturel, les gaz de cokerie et de raffineries.

L'électricité est fournie par les centrales thermiques à fuel et charbon, les centrales nucléaires et une partie (30 %) par les usines hydroélectriques et marémotrices.

Quant à la chaleur, elle est peu utilisée actuellement, mais les réseaux de chaleur sont de plus en plus nombreux (géothermie, usines d'incinération des ordures). Mais cette forme de production d'énergie est aujourd'hui comptabilisée au titre des économies d'énergie.

A long terme, les combustibles proviendront des végétaux et des déchets domestiques et industriels,

ainsi que de l'électrolyse de l'eau par l'électricité (production d'hydrogène gazeux). L'électricité sera produite par des usines hydroélectriques, marémotrices et houlomotrices, par de nombreuses éoliennes, par des photopiles et des centrales solaires. La chaleur distribuée viendra de capteurs solaires, d'usines de chauffage à combustibles et de centrales solaires.

Les énergies finales

Ce sont les énergies effectivement utilisées. On distingue généralement :

– la chaleur (BT, MT, HT) qui chauffe un local, un four, une piscine, une serre etc...

– la force motrice qui est produite par des moteurs (à combustion ou électriques) permet le transport des personnes et des marchandises (on parle alors de force motrice mobile ou F.M.M.), ou actionne des machines telles que machines-outils, presses, broyeurs (on parle alors de force motrice fixe ou F.M.F.) ;

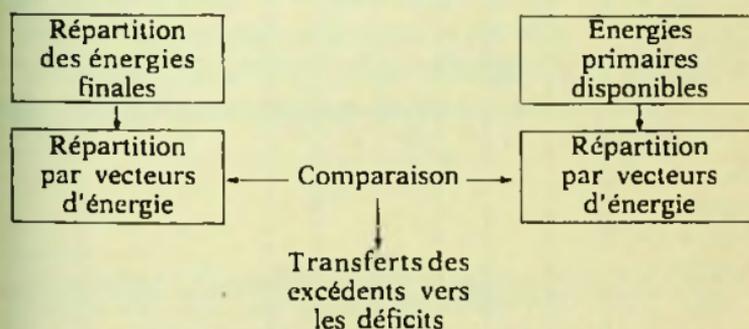
– l'électricité spécifique (E.S.) pour les usages où l'électricité est irremplaçable : l'éclairage, l'électronique, l'informatique, les télécommunications, l'électrochimie et l'électrometallurgie (production du chlore, de l'aluminium), la recherche (induction, magnétisme, spectroscopie, laser...), l'électroménager.

Toutes ces distinctions ne sont pas artificielles, mais décrivent utilement les flux d'énergie qui tra-

versent la société. On comprend bien que c'est de chaleur, de force motrice ou d'électricité que l'on a besoin, et non pas de charbon, de pétrole, d'uranium en tant que tels. C'est la raison pour laquelle nous partons des besoins en énergies finales pour aboutir à la répartition des énergies distribuées ou vecteurs d'énergie. Ceci permet alors une comparaison rapide avec la répartition des vecteurs d'énergie que l'on peut tirer des énergies primaires.

Le bilan approvisionnement-utilisation

Nous aboutissons alors à un tableau-bilan en comparant la répartition des vecteurs d'énergie dans la société à long terme et celle des vecteurs d'énergie fournis par les énergies renouvelables :



Le tableau-bilan se présente alors sous la forme résumée ci-dessous, où figurent les répartitions des vecteurs par secteurs économiques.

Le secteur *résidentiel* recouvre l'ensemble des habitations ; le secteur *tertiaire* regroupe l'ensemble des bureaux, des services (hôpitaux, écoles) ; le secteur *transport* s'adresse à toutes les formes de transport extérieures aux entreprises (trains, bateaux, avions, voitures, cars, autobus, tramways) ; le secteur *agriculture* exclut les industries agroalimentaires, regroupées dans le secteur *industriel*.

CONSUMATION	CHALEUR			COMBUSTIBLES			ELECTRICITE	TOTAL
	BT	MT	HT	CS	CL	CG		
RESIDENTIEL								
INDUSTRIE								
TRANSPORT								
TERTIAIRE								
AGRICULTURE								
TOTAL								
PRODUCTIONS	BT	MT	HT	CS	CL	CG	E	TOTAL
SOLAIRE								
EOLIENNES								
HYDRAULIQUE								
BIOMASSE								
TOTAL								

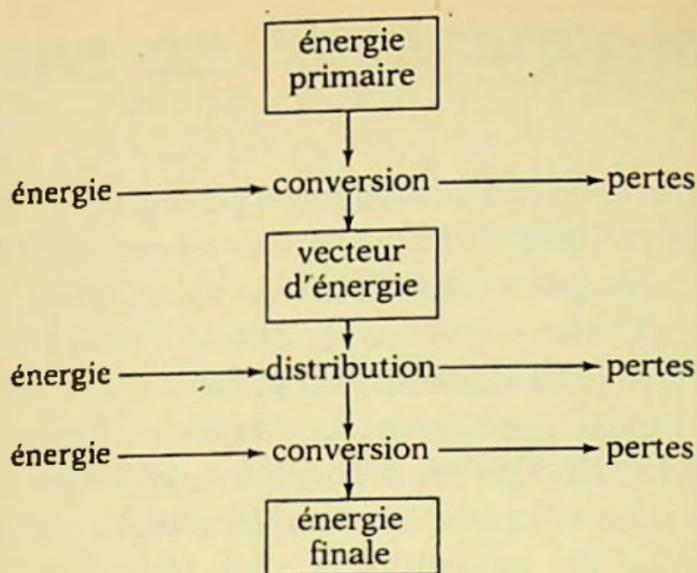
Les conversions, les transferts et les pertes

La conversion d'une énergie primaire en vecteur d'énergie est une opération qui consomme de l'énergie, qui requiert des moyens techniques et des emplois. Cette conversion, comme toute activité productive, peut s'accompagner de nuisances (pollutions, bruits, mauvaises conditions de travail) et occasionner des pertes d'énergie sous forme d'énergie dégradée (fumées, rejets d'eau tiède, pertes par effets inductifs, capacitifs et effet Joule ¹).

La distribution des vecteurs d'énergie entraîne également des pertes de transport ou de réseau. Chez l'utilisateur enfin, la conversion du vecteur d'énergie en énergies finales s'accompagne encore de pertes supplémentaires. Pour minimiser toutes ces pertes, il faut, pour chaque utilisation finale, *considérer l'ensemble de la chaîne de transformation et choisir le vecteur le plus adapté, compte tenu des ressources disponibles.*

Le chauffage électrique d'une habitation est un exemple-type de l'inadaptation d'un vecteur d'énergie (l'électricité) à l'utilisation finale (chaleur BT) : l'ensemble des pertes depuis le pétrole, le charbon ou l'uranium jusqu'à la pièce chauffée par convecteur électrique est supérieur à 70 % !

¹ Lorsque l'électricité circule dans un câble, une partie de l'énergie électrique est perdue par échauffement du câble.



Enfin, la couverture des vecteurs d'énergie déficitaires par conversion des vecteurs excédentaires entraîne également des pertes importantes difficilement jugulables. Limiter toutes ces pertes en chaîne revient à « utiliser rationnellement l'énergie ».

II - Les filières solaires

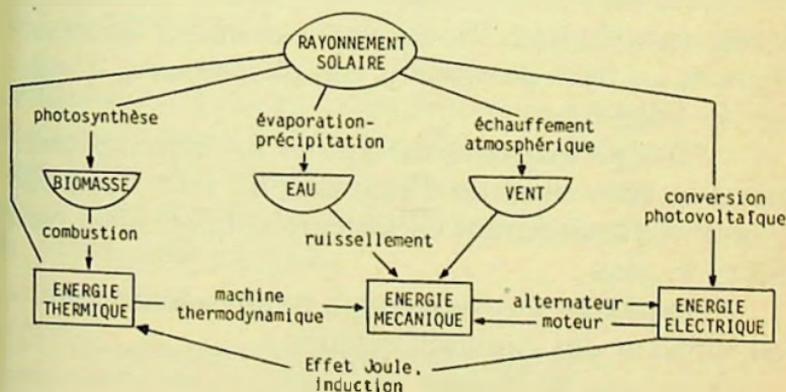
Les énergies du soleil

Chaque seconde, par réaction de fusion nucléaire, l'astre diurne perd quatre tonnes d'hydrogène qu'il transforme presque intégralement en énergie. Celle qui arrive jusqu'à nous subit des fortunes diverses :

la majeure partie nous parvient directement sous forme de rayonnement jusqu'au sol où nous pouvons le capter : c'est l'énergie solaire directe. Mais le reste n'est pas perdu et joue un grand rôle : c'est, en effet, l'énergie solaire indirecte qui est le moteur de toute l'activité atmosphérique. C'est ainsi que les différences de température au sol et dans l'atmosphère à la surface du globe engendrent constamment des déplacements d'air colossaux ; ces vents entraînent vers les continents l'eau évaporée par le soleil sous forme de nuages qui retombent en pluie et en neige sur les reliefs montagneux où ils alimentent les cours d'eau.

Ainsi, le soleil est à l'origine de cette énergie mécanique qui fait tourner les éoliennes et actionne les turbines hydrauliques sur le Rhin ou sur les rivières vosgiennes.

Le soleil est aussi le moteur de la vie. Il permet la synthèse des sucres par les plantes à partir du gaz carbonique et de l'eau, et donc la croissance des végétaux, qui constituent la biomasse.



Ainsi les énergies éolienne, hydraulique et la biomasse sont-elles des énergies solaires indirectes.

L'ensemble des conversions physico-chimiques de l'énergie solaire sont présentées dans le schéma page précédente.

Se chauffer avec le soleil

Nos besoins en chaleur sont considérables : *les deux tiers de l'énergie consommée aujourd'hui servent à obtenir de la chaleur*, la moitié étant utilisée pour assurer le chauffage basse température (chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire).

Pour économiser les combustibles – source de chaleur haute température – ou l'électricité – difficilement stockable et à faible rendement de conversion – il est rationnel de se chauffer « au soleil » dont le rayonnement est directement source de chaleur basse température. Nous allons examiner successivement les trois possibilités complémentaires d'utiliser le soleil :

- limiter les pertes de chaleur (isolation, protection) et bien orienter l'habitation : cela s'appelle capter « passivement » l'énergie solaire, sans rien faire de plus ;

- exploiter le rayonnement solaire « activement » en utilisant des capteurs solaires ;

- stocker la chaleur solaire.

Le solaire passif : l'architecture bioclimatique

✕ *Isolation* : tous les projets énergétiques tiennent compte d'une amélioration de l'isolation de l'habitat. Le coefficient G^2 d'isolation thermique des logements passera de 1,3 aujourd'hui à moins de 1 dans le futur. Rien d'extraordinaire à cela, un coefficient inférieur à 1 étant déjà la règle pour un logement tout-électrique... Ceci permet à EDF de faire valoir l'avantage du tout-électrique, par rapport à un chauffage classique, alors qu'il ne s'agit là que de l'avantage d'un logement isolé sur un logement moins isolé !

Un programme d'isolation permettra d'économiser en moyenne 20 à 30 % des besoins en chauffage assez rapidement. On peut à cet égard citer le passage suivant, tiré du rapport parlementaire d'information sur la politique de l'énergie lors de la 2^e session extraordinaire de 1980-81 : « une isolation complète de logements (anciens) permettrait de réduire leur consommation d'énergie de 30 à 50 % ». Ces investissements sont d'ores et déjà très rentables et créateurs d'emplois (voir chapitre IV).

✕ *Régulation* : pourquoi chauffer un logement vide de ses occupants ? C'est inutile et coûteux. Dans l'avenir, la régulation thermique de chaque pièce sera la règle et pourra être facilement programmable par micro-informatique.

² G mesure la déperdition thermique totale par m^3 de local. Il est calculé en kilocalorie/ $^{\circ}C.m^3$.

Architecture bioclimatique : une habitation bioclimatique est une construction qui tient compte du climat (ensoleillement, vents dominants, humidité, variations journalières et saisonnières de températures), du terrain (relief, végétation, orientation, nature du sol) et de la physiologie humaine (sensation de chaud et froid, espace, atmosphères).

L'architecture bioclimatique, c'est tout simplement prévoir les entrées à l'abri du vent, des sas pour mieux isoler l'intérieur de l'extérieur à chaque entrée, les pièces les plus habitées éclairées et chauffées derrière des baies vitrées etc... Le choix des matériaux de construction se fait surtout en fonction des conditions économiques du moment et des ressources naturelles locales : architecture à colombages, à base de bois et de terre ; architecture en pierre avec le grès des Vosges ; architecture en béton, avec le sable du Rhin et le ciment d'Altkirch.

Si le coût énergétique des matériaux n'entre que pour une faible part dans le coût actuel de la construction, il pèse lourd dans le bilan énergétique du pays. Il n'est pas indifférent de savoir qu'il faut investir :

- 0,05 TEP pour produire une tonne de bois (abattage, sciage) ;
- 0,1 TEP pour extraire une tonne de pierre d'une carrière ;
- 1 TEP pour couler une tonne de béton ;
- 5 TEP pour fabriquer une tonne d'aluminium.

L'architecture bioclimatique utilise donc en priorité les matériaux peu énergivores : bois (0,05

TEP/t), plâtre (0,056 TEP/t), brique (0,075 TEP/t), verre (0,6 TEP/t).

Nous verrons (chapitre III) que le solaire a besoin d'espace et de surfaces. Si l'architecture bioclimatique est tout à fait adaptée à la maison individuelle, elle l'est davantage encore aux petits ensembles avec terrasses et serres qui, par rapport à la maison individuelle :

- ont moins de surfaces extérieures et, donc, moins de déperditions calorifiques ;
- offrent moins d'emprise au sol par habitant ;
- peuvent être équipées de façon rentable de capteurs solaires avec stockage intersaisonnier.

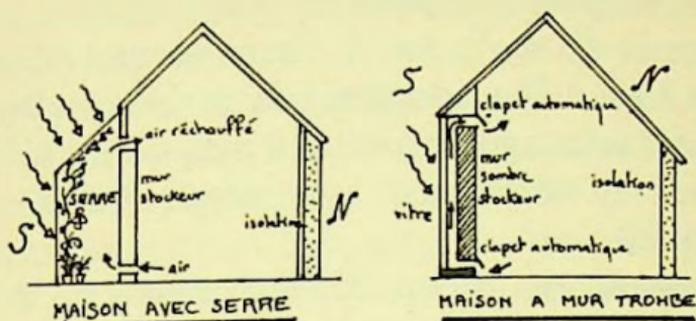
Bien sûr, de tels petits ensembles doivent aussi offrir aux habitants les mêmes qualités qu'une maison individuelle, à savoir le calme, l'intimité et la jouissance d'espaces verts.

Le solaire actif : les capteurs solaires

Le capteur solaire est un dispositif qui convertit le rayonnement solaire en chaleur par effet de serre ³ et élève la température d'un fluide circulant à l'intérieur (air, eau, huile).

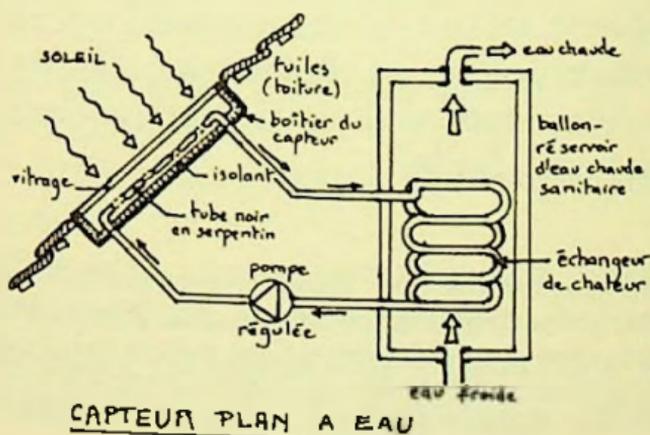
³ Le rayonnement solaire traverse presque intégralement un vitrage dans toute l'étendue de son spectre. Après absorption sur une surface noire placée derrière, il est réémis vers le vitrage sous forme de rayonnement infrarouge (chaleur) que le verre ne laisse pas passer. La chaleur est donc piégée sous la vitre.

Pour le chauffage des maisons individuelles, les capteurs utilisés sont à basse température. Ce sont :



- les capteurs à air, où l'air est chauffé à des températures de 20 à 50° C même en hiver, à l'abri d'une vitre ; on peut ranger dans cette catégorie les serres (que l'on peut placer devant la maison ou intégrer à une façade sud), les murs Trombe (façade vitrée plane verticale ou inclinée fixée devant un mur sombre) et les capteurs plans à air, faits d'une pièce et que l'on appose sur un toit, un mur ;

- les capteurs plans à eau, où l'eau peut atteindre 30 à 100° C selon l'ensoleillement. La vitesse de circulation de l'eau est réglable automatiquement par asservissement électronique d'une pompe, ou, plus



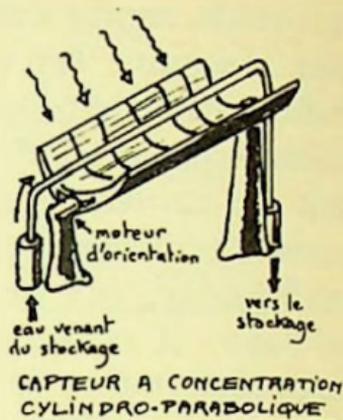
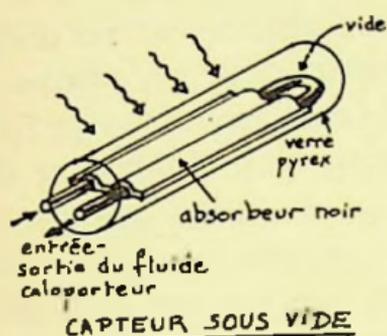
simplement, par thermosiphon, c'est-à-dire par convection naturelle (l'eau chaude, moins dense que l'eau froide, monte dans le capteur). Ce système, déjà assez répandu, est simple d'emploi et certaines conditions doivent être remplies pour en assurer le meilleur rendement dans la disposition respectivement du capteur, des pompes, du ballon et des vannes d'échangeur. Il permet d'obtenir aisément le chauffage de l'eau chaude sanitaire (vaisselle, douche) : avec 10 m^2 environ de capteur, on peut alors économiser 0,45 TEP par an.

Le chauffage d'une maison individuelle en Alsace demande environ 1,8 TEP par an (voir chapitre III). Pour en assurer la couverture totale par chauffage solaire, il faudrait 90 m^2 de capteurs plans, avec stockage intersaisonnier de plusieurs dizaines de m^3 , offrant une économie de 0,2 TEP/an pour 10 m^2 de capteurs (le stockage-déstockage entraîne une baisse globale du rendement de l'installation, du moins dans l'état actuel des techniques).

En fait, installer 100 m^2 de capteurs pour couvrir 100 % des besoins de chaleur en hiver (chauffage + eau chaude sanitaire) représente un suréquipement trop lourd financièrement et trop disproportionné en surface et en puissance pour une simple habitation individuelle. On retiendra plutôt l'objectif d'une couverture des besoins de l'ordre de 50 à 60 % par l'apport solaire, ce qui correspond au rendement des maisons solaires actuellement faisables dans notre région ; 50 m^2 de capteurs sont alors suffisants.

A noter qu'une telle installation est plus rentable et plus vite amortie en Alsace que dans le Sud de

la France, car elle apporte une économie bien plus importante de chauffage⁴.



Pour le chauffage collectif, l'apport solaire peut couvrir la totalité des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire avec des capteurs plus performants couplés à des réservoirs de stockage d'énergie de grande capacité.

Ces capteurs, qui délivrent de l'eau ou de l'huile entre 100°C et 200°C, sont les suivants (voir dessins) :

- capteurs sous vide et concentrateurs fixes : le vide permet d'annuler les pertes thermiques ; la température du fluide est comprise entre 100°C et 150°C en fonctionnement ;

- capteurs cylindro-paraboliques : ils produisent de la chaleur moyenne température entre 150 et 250°C, stockable à plus basse température par d'importants volumes d'eau ou de sels fondus. Ils nécessitent un système électronique ou autre de

⁴ Consulter à ce propos l'ouvrage de R. Bernard, G. Menguy et M. Schwartz, *le rayonnement solaire, conversion thermique et applications*, éd. technique et documentation, 1980, p. 182 et 191 particulièrement.

poursuite du soleil pour garder un rendement maximal toute la journée. Ces capteurs sont utilisables également pour produire la vapeur industrielle à 150-200°C, mais nous ne l'envisageons pas en Alsace du fait de l'intermittence de l'ensoleillement et de l'absence de procédés actuels pour accumuler économiquement et simplement la chaleur MT sur une très longue période.

Un ensemble de 30 logements par exemple (5 entrées, 2 étages, 1000 m² au sol) nécessitera 2000 m² de capteurs installables sur les toits, en terrasse et aux abords, le stockage étant enterré. On peut compter sur une économie d'environ 0,3 à 0,4 TEP/an pour 10 m² de capteurs.

Nous n'avons pas retenu pour l'Alsace les techniques de production de chaleur moyenne et haute températures par capteurs à concentration en forme de paraboloïde ou par centrale à héliostats (comme la centrale solaire de Thémis dans les Pyrénées Orientales) : là encore, l'intermittence de l'ensoleillement et la trop longue durée des périodes sans soleil empêchent la rentabilité de tels dispositifs. Les fours industriels peuvent très bien utiliser le surplus d'électricité produit en Alsace.

Le stockage de la chaleur

Pour pouvoir s'affranchir des intermittences journalières et saisonnières du rayonnement solaire et pour préserver à l'énergie solaire son caractère

décentralisé, il faut la stocker sur place et en grande quantité.

Si le stockage de chaleur par accumulation fait actuellement l'objet de nombreuses recherches, celles-ci s'orientent surtout vers l'utilisation des sources à moyenne et haute température (centrale solaire Thémis, industrie nucléaire).

Pour les utilisations que nous envisageons, seul est nécessaire un stockage basse température, éventuellement jusqu'à 80°C, pour le chauffage des locaux.

Le stockage de chaleur est réalisé en nappe aquifère souterraine lorsque c'est possible ou par cuves à sels fondus ou à briques.

– *Le stockage en nappe* : l'eau chaude sous pression est stockée liquide dans les réservoirs d'eau souterrains. La pression et la température augmentent avec la profondeur. En Alsace, ces réservoirs existent dans la presque totalité de la plaine, et le soleil viendra au secours de la géothermie en rechargeant en chaleur pendant l'été les doublets de forage géothermiques qui déstockeront cette chaleur pendant la saison froide.

Ainsi, l'héliogéothermie assurera la pérennité de la géothermie, une des richesses de l'Alsace (voir chapitre IV).

Ces réservoirs de grande capacité – 400 000 m³ pour 1000 logements, stockant 2 000 TEP/an – sont chauffés l'été par champs de capteurs solaires sous vide ou cylindro-paraboliques occupant plusieurs hectares – 5 à 6 ha dans l'exemple précédent –, associés à un double forage reliant la surface aux réservoirs.

- *Le stockage sur briques ou lit de cailloux ou en roche sèche* : alors que les réservoirs d'eau chaude présentent une capacité de stockage de l'ordre de 0,5 TEP/100 m³, les roches sèches permettent d'en stocker le double sous le même volume : 1 TEP/100 m³.

D'ores et déjà, le stockage en lit de graviers est utilisé pour le chauffage d'usines ou d'entrepôts, assurant un déphasage de la fourniture solaire entre le jour et la nuit (stockage journalier). Le fluide est soit l'eau, soit l'air.

- *Le stockage par sels fondus* : certains sels fondent entre 20 et 60°C sous l'action de la chaleur. Lorsqu'il fait froid, ils cristallisent en restituant la chaleur. Leur capacité de stockage est trois fois plus élevée que celle de l'eau chaude. Certains de ces sels sont à base de chlorures ou de sodium et pourraient être produits en grande quantité par les M.D.P.A. Leur prix, inférieur à 1 F par kg, permet d'envisager de grandes capacités de stockage à basse température à la mesure d'un chauffage individuel ou collectif. Pour éviter les problèmes de corrosion, ces sels sont encapsulés dans des billes de plastique (que pourraient aussi fabriquer les M.D.P.A.), ce qui permet un stockage mixte : eau + sels fondus.

Dans un futur proche, les murs seront remplis de ces billes à sels fondus. Ils seront aussi chauds l'hiver que l'été comme les murs d'antan de plus d'un mètre d'épaisseur, conservant la chaleur l'hiver et la fraîcheur l'été.

En résumé, les possibilités techniques offertes par le chauffage solaire pour l'Alsace sont variées et

peuvent répondre à des besoins différents. Elles sont regroupées dans le tableau suivant où figurent également leurs performances énergétiques, tenant compte des rendements de captation solaire et de stockage-déstockage. Ces rendements peuvent être nettement augmentés par adjonction de pompes à chaleur dans les circuits de chauffage à basse température (stockage en nappe à 100 m de profondeur, par exemple).

Nous n'avons pas tenu compte des pompes à chaleur pour la couverture directe des besoins de chauffage pour différentes raisons : l'emploi généra-

Objectif	Moyen	Température °C	Rendement pour 10 m ² de capteurs TEP/10 m ² .an en Alsace	Productivité TEP / ha.an en Alsace
Réchauffage d'eau - piscine - horticulture	Capteur sans vitrage	30	0,5 - 0,6	600 l'été
Eau chaude sanitaire. particulier, camping	Capteur plan sélectif avec régulation	60	0,4 - 0,6	400 - 600
Chauffage individuel	idem + stockage	60	0,2 - 0,3	200 - 300
Chauffage collectif et industriel	capteurs axiaux + stockage en réservoirs	150	0,3 - 0,4	300 - 400

lisé des P.A.C. eau/air ou eau/eau perturberait l'équilibre thermique de la nappe phréatique (ce qui n'exclut pas son utilisation ponctuelle ici ou là) ; le rendement des P.A.C. air/eau ou air/air n'est pas intéressant.

l'énergie de l'eau

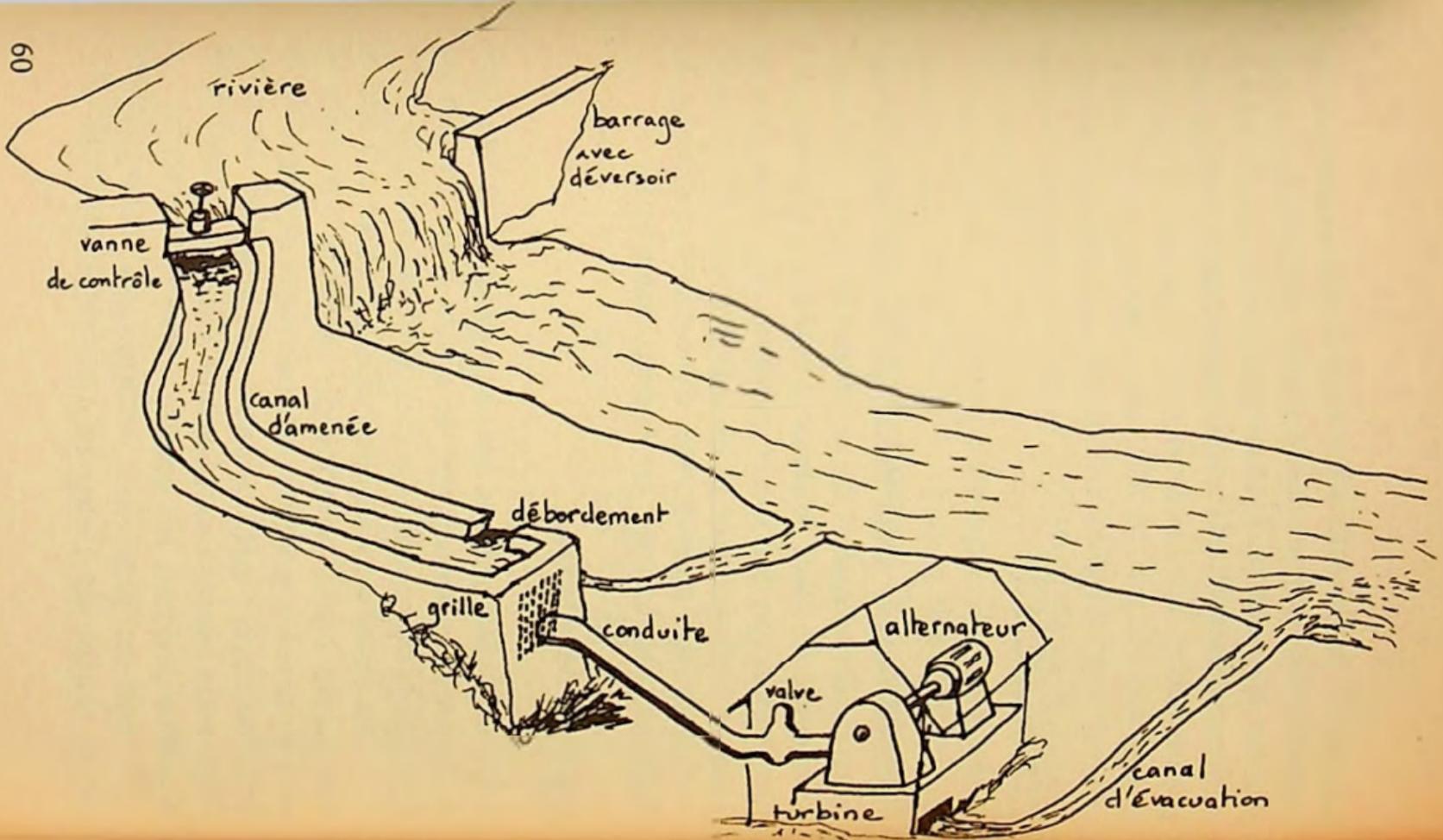
En s'écoulant sous l'effet de la pesanteur, l'eau d'une rivière acquiert de la vitesse et donc de l'énergie capable de faire tourner un système mécanique : c'est le principe des vieux moulins. Si l'on associe ce système mécanique à un générateur électrique – alternateur, génératrice, dynamo –, l'énergie de l'eau est transformée en énergie électrique.

Les microcentrales

Ce sont des petites installations de production électriques disposées sur le cours d'une rivière de débit faible ou moyen. Le dispositif est constitué par :

– un canal ou une conduite d'amenée qui dérive une partie ou la totalité du cours d'eau vers la microcentrale, grâce à un ouvrage de régulation (petit barrage) ; ceci permet de contrôler le débit d'eau et de laisser une quantité minimale d'eau dans la rivière pendant les étiages (débits réservés) ;

– une ou plusieurs turbines ou roues placées sur le trajet de l'eau et reliées à un multipli-



rivière

barrage
avec
déversoir

vanne
de contrôle

canal
d'aménée

débordement

grille

conduite

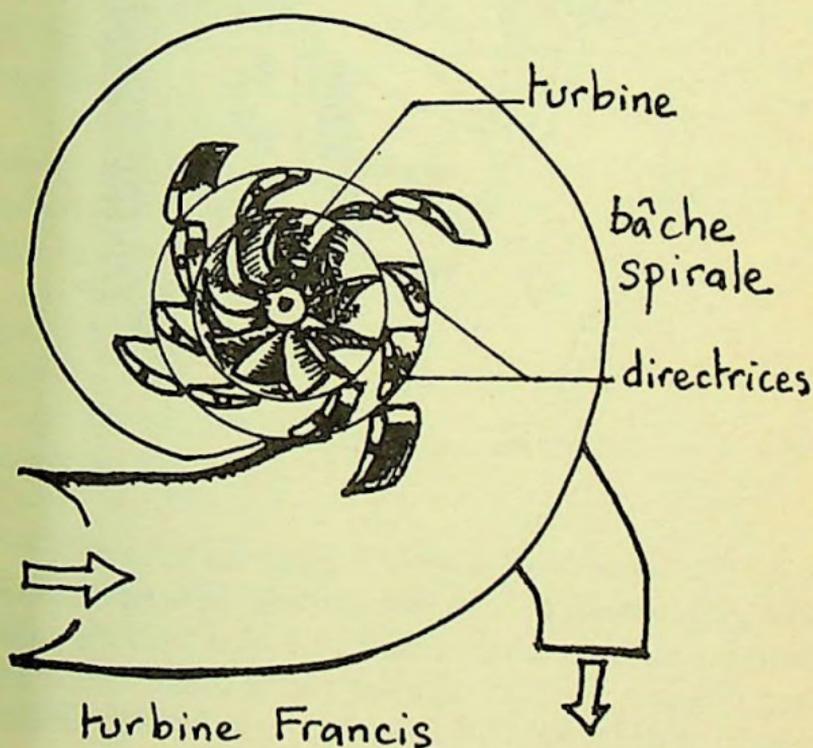
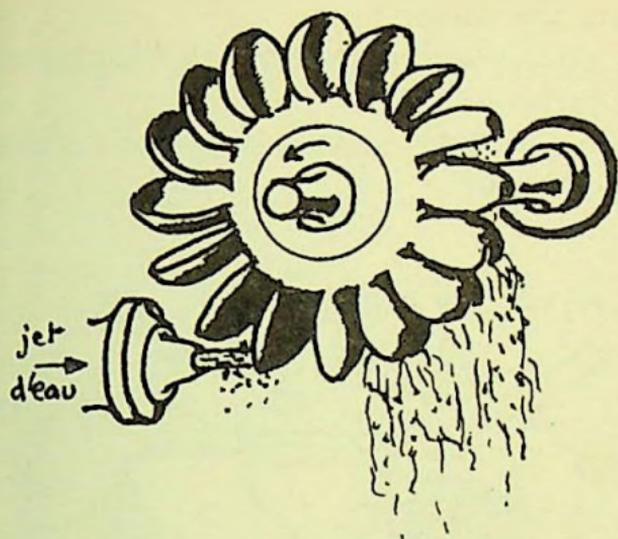
alternateur

valve

turbine

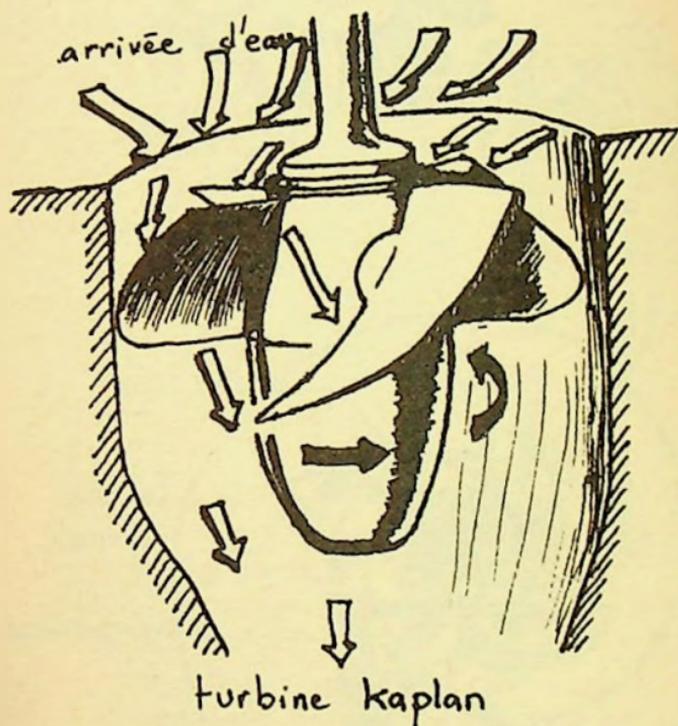
canal
d'évacuation

roue Pelton



cateur de vitesse ; Elles sont en général munies de régulateurs de vitesse ;

- un ou plusieurs générateurs électriques couplés aux turbines ;
- un canal d'évacuation de l'eau turbinée qui rejoint la rivière ;



- un débordement prévu pour les crues.

Le rendement de ces installations dépend étroitement du débit d'eau, et chacune doit être calculée pour chaque site sur chaque cours d'eau. Pour les hautes chutes de 100 à 1000 m, à faibles débits

(quelques litres à quelques m^3 par seconde), on installe des *roues Pelton*, à grande vitesse de rotation. Pour les chutes moyennes de 15 à 100 m, les *turbines Francis* sont plus adaptées et ce sont des *turbines Kaplan* qui équipent les petites chutes à grand débit, comme celles du Rhin. Les rendements de toutes ces roues et turbines dépassent 90 % à leur débit nominal (ou débit optimal).

La centrale d'Erstein (400 kw), placée sur l'Ill, offre l'exemple de l'utilisation possible et rentable de turbines Francis à axe vertical dans le cas d'un débit moyen de $20 m^3/s$ pour faible chute de 2,4 m.

La production d'électricité par les microcentrales peut être fournie, selon l'utilisation prévue, par :

- des dynamos, qui délivrent un courant continu et ne nécessitent pas une vitesse de rotation très régulière ;

- des alternateurs synchrones, moins chers et moins lourds, dont la vitesse doit être rigoureusement constante, et qu'on utilise surtout pour alimenter de petits réseaux autonomes ;

- des génératrices asynchrones, simples, robustes et économiques, le plus souvent reliées au réseau E.D.F.

Le dimensionnement d'une microcentrale, c'est-à-dire sa puissance nominale, le volume de retenue d'eau, le débit à réserver aux étiages, est calculé d'après l'objectif que se fixe l'utilisateur (commune, particulier, industrie) et selon le régime des eaux. S'il vise la rentabilisation rapide du coût de construction, la puissance installée sera telle que l'usine fonctionne à plein régime au moins six mois par an, c'est-à-dire

basée sur des débits proches de la moyenne annuelle, les débits de crue étant inutilisés. Si l'objectif est la production maximale d'électricité, la puissance installée sera capable de turbiner les eaux de crue, mais il faudra arrêter une ou plusieurs turbines plus longtemps dans l'année. Dans les deux cas, il faut savoir que la construction d'un bassin de retenue journalière permet d'augmenter la puissance installée.

Les usines hydrauliques de forte puissance

Elles ont des principes de production analogues, mais l'installation est différente, car les débits turbinés sont importants. De grands barrages, comme celui de Serre-Ponçon, peuvent être équipés de turbines Francis de puissance élevée ; des turbines Kaplan équipent des usines au fil de l'eau comme celle de Kembs, ou bien des groupes bulbes des usines telles que celle de Gamsheim sur le Rhin.

Le calcul de la puissance installée est alors essentiellement orienté vers la productibilité maximale, avec régulation par retenue d'eau maximale.

Ces projets sont à l'échelle du département ou de la région.

L'énergie du vent

Le régime des vents

Lorsque l'air se déplace, chaque molécule acquiert de la vitesse, donc de l'énergie. L'énergie du vent ou énergie éolienne est la somme des énergies cinétiques de toutes les molécules d'air en mouvement. Comme elles sont très nombreuses et souvent très rapides – il y a 30 milliards de milliards de molécules dans chaque cm^3 d'air, atteignant des vitesses de plusieurs dizaines de km/h –, ceci représente une énergie colossale à l'échelle mondiale.

Mais les vents sont variables et leur énergie est répartie sur de grands espaces ; de plus, les reliefs tourmentés peuvent induire des variations rapides de force et de direction très localisées, appelées turbulences, difficiles à maîtriser et à utiliser.

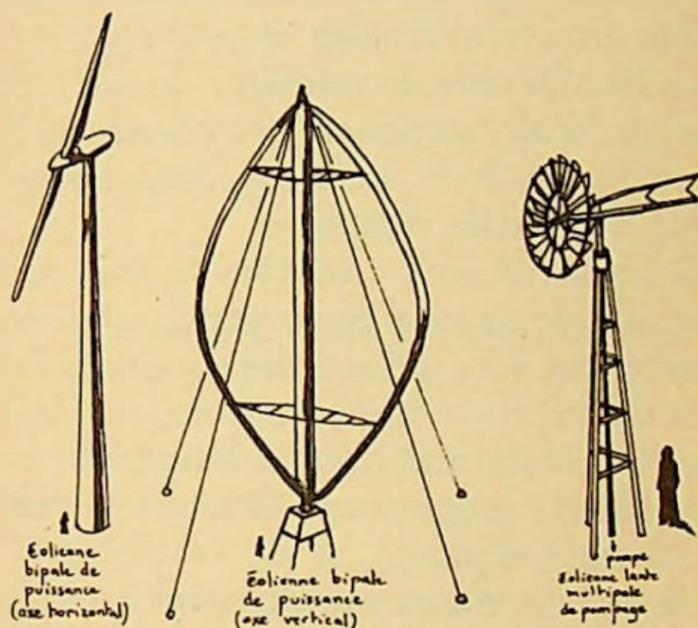
Néanmoins, on peut caractériser le régime des vents sur un site par :

- la vitesse moyenne du vent \bar{v} calculée sur l'année ;
- la courbe annuelle des vitesses classées qui donne la durée annuelle en heures pendant laquelle la vitesse du vent est supérieure à telle valeur en m/s ;
- la courbe de fréquence annuelle des vents donnant la durée annuelle pendant laquelle la vitesse est comprise entre telle et telle valeur ;
- la variation saisonnière du vent.

Les éoliennes

Ce sont les systèmes mécaniques qui transforment l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation. Les éoliennes de pompage à rotation lente utilisent cette énergie mécanique pour pomper l'eau dans un puits ; les aérogénérateurs sont des éoliennes à rotation rapide produisant de l'électricité.

Les éoliennes sont des hélices à axe horizontal ou



vertical, ou bien des rotors à axe vertical, parfois un système mixte. L'hélice doit être placée sur un support (tour, pylône) à une hauteur suffisante en rapport avec son diamètre, car la vitesse du vent croît avec l'altitude, ainsi que sa régularité.

Pour les aérogénérateurs, un système de multiplication mécanique permet le couplage à un alternateur ; l'ensemble est situé dans l'axe de l'hélice à

l'abri d'un carter. Les systèmes de production électrique sont identiques à ceux des microcentrales hydrauliques.

Théorie de l'éolienne

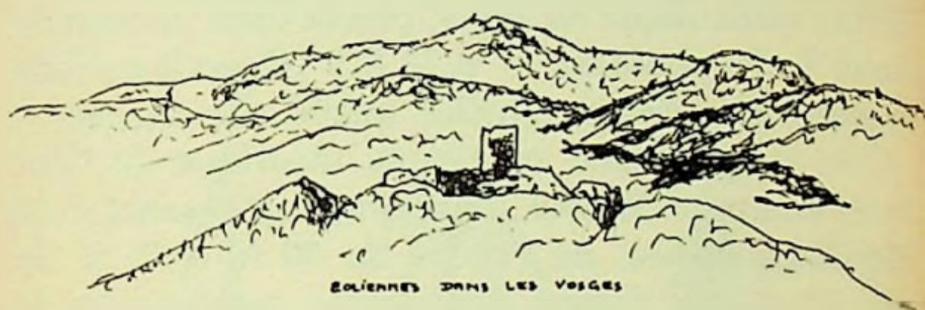
Un calcul physique simple permet de connaître la puissance mécanique d'une hélice à axe horizontal, à nombre quelconque de pales, placée dans un vent de vitesse V : $P \text{ maximum} = 0,37.S.V^3$. (S est la surface du cercle balayée par l'hélice quand elle tourne).

C'est la puissance maximale théorique de l'éolienne, ou limite de Betz. En réalité, la puissance d'un aérogénérateur est de l'ordre de 60 % à 70 % de cette limite en raison des pertes mécaniques et électriques dans le multiplicateur et l'alternateur.

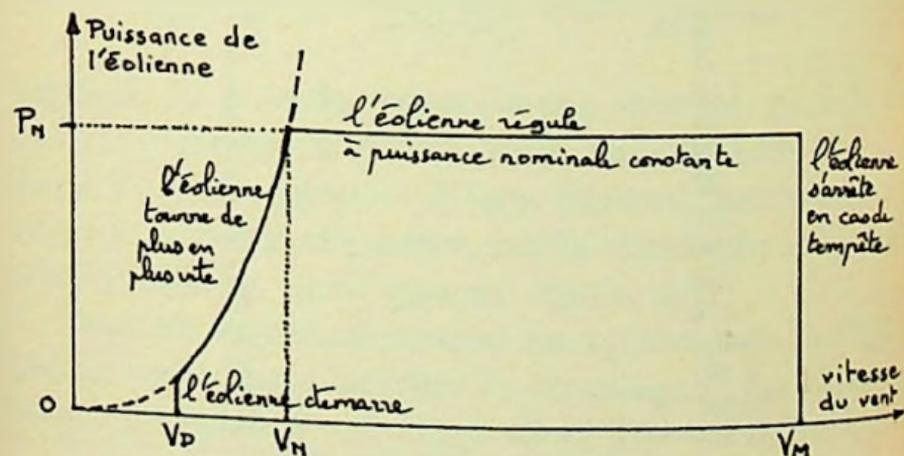
On remarque que la puissance croît très vite avec la vitesse du vent :

Puissance par m^2 de surface d'hélice (w)	Vitesse du vent (m/s)
0,37	1
3	2
10	3
24	4
46	5
80	6
127	7
190	8
280	9
370	10
2 960	20
9 990	30
23 680	40
46 250	50

Pour qu'une éolienne fonctionne au mieux sur une large plage de vent, on préfère que sa vitesse de rotation ne dépasse pas un seuil optimal qui correspond à une vitesse de vent « nominale » V_N . En général, on fixe V_N au double de la vitesse moyenne du vent sur un site donné. La vitesse de rotation croît avec celle du vent tant que celle-ci est inférieure à V_N . Si la vitesse du vent est supérieure à V_N , alors les



pales de l'hélice s'orientent automatiquement par effacement pour maintenir constante la vitesse de rotation de l'hélice (régulation). En cas de tempête, les pales s'effacent complètement avec arrêt de l'hélice, ou c'est toute l'hélice qui s'efface par effet de ressort.



Ce fonctionnement se traduit par la courbe ci-dessous, indiquant la puissance de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent. On remarque qu'en dessous de la vitesse de démarrage V_D , l'éolienne ne tourne pas.

Ainsi, la puissance nominale P_N d'une éolienne de 60 m de diamètre pour une vitesse de vent nominale de 11,6 m/s et de rendement 69 % s'établit à 1,1 Mw.

Performances

L'énergie récupérable par une éolienne dépend du nombre d'heures pendant lesquelles la vitesse du vent dépasse V_D (vent productif) et lorsqu'il dépasse V_N . Ce calcul doit être fait pour chaque site par la formule :

$$E = \int_{V_D}^{V_N} 0,37 \rho \cdot S \cdot V^3 (t) \cdot dt \quad (\rho \text{ est le rendement})$$

Pour simplifier les calculs, on utilise souvent une formule simple approchée qui donne l'énergie annuelle par m^2 d'éolienne en fonction de la vitesse nominale :

$$E(\text{Kwh}) = 0,37 \cdot \rho \cdot \left(\frac{V_N}{10} \right)^3 \cdot \Delta t$$

Δt représente le nombre d'heures équivalent de fonctionnement à vitesse nominale (de 2000 à 3000 heures selon les sites).

Pratiquement, une éolienne fonctionnant à vitesse nominale $V_N = 2\bar{V}$ pendant l'équivalent de 2000

heures par an fournit l'énergie E (kwh) = $4,1.V^3$ par m^2 d'hélice, ce qu'indique le tableau ci-dessous :

Vitesse moyenne du vent en m/s	Energie annuelle en Kwh/ m^2 d'hélice
1	4
2	33
3	110
4	262
5	512
6	885
7	1 406
8	2 100
9	2 989
10	4 100

Ces chiffres sont ceux d'une bonne éolienne à axe horizontal. Les performances des éoliennes dépendent de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- *Les types d'éolienne* : les meilleurs sont actuellement les bi- ou tripales à axe horizontal dont le rendement atteint 82 % de la limite de Betz ; celui des éoliennes à axe vertical Darrieus atteint 65 %. Les éoliennes multipales à axe horizontal offrent un rendement de 55 % ; elles sont utilisées pour le pompage de l'eau, car elles ont un fort couple de démarrage. Enfin, les rotors Savonius à axe vertical ont un rendement de 20 % qui les rend surtout intéressants pour démarrer les rotors Darrieus.

- *La forme des pales* : l'utilisation de l'ordinateur pour les calculs de profils aérodynamiques et de vrillage (variation de l'angle de calage de la pale avec la distance à l'axe), et l'emploi de matériaux peu denses et rigides (bois, aluminium, plastique, fibres

de carbone) permet des résultats remarquables en tenue aux vibrations et autres contraintes mécaniques.

– *La régulation* par rotation progressive des pales autour de leur pivot permet de maintenir le régime de l'alternateur à sa puissance optimale lorsque la vitesse du vent dépasse V_N .

– *Le régime des vents* à l'endroit de la construction doit être bien connu et son étude menée sur au moins une année, en des points différents et à hauteur suffisante. Les dimensions de l'éolienne en dépendent.

Les réalisations

Un des avantages des éoliennes est leur facilité de construction par un bon artisan ou par une petite coopérative ouvrière, avec des résultats très positifs pour des puissances allant jusqu'à 3 à 5 kwh. Mais les réalisations industrielles ont déjà dépassé le stade du prototype pour les petites puissances jusqu'à 10 kw.

Ce domaine est celui des besoins d'une maison individuelle et permet une autonomie importante. Selon les utilisations envisagées, ces *petites éoliennes* peuvent être couplées au réseau général, ou bien constituer un petit réseau local, dans une vallée vosgienne par exemple. Elles sont utilisables également pour chauffer un refuge par résistance électrique ou mieux, par convertisseur thermique à huile, alimenter un radiotéléphone, une balise isolée etc... Ce sont de telles petites éoliennes que l'on peut multiplier dans la plaine d'Alsace.

Les *éoliennes de moyenne puissance*, de 50 à 500 kw, sont utilisées pour alimenter un réseau local à la place de générateurs diesel. Dans les endroits assez ventés (au pied des Vosges, par exemple, dans certaines vallées), il est alors envisageable d'installer de tels réseaux locaux avec une telle éolienne couvrant 80 % de la puissance minimale appelée pour assurer une bonne régulation.

Les *grandes éoliennes* font actuellement l'objet d'un regain d'intérêt dans les pays nordiques, au Canada, aux U.S.A. Les expériences passées (éoliennes de 1 Mw à St Rémy des Landes en 1964 ; de 800 Kw à Nogent-le-Roi en 1960) ont aidé à résoudre les problèmes techniques des machines puissantes, et les expériences actuelles montrent que la réalisation d'éoliennes de 50 à 60 m de diamètre est tout à fait possible : en témoignent les programmes de construction danois et suédois lancés depuis 1979. Economiquement intéressantes, car offrant des coûts d'installation inférieurs aux centrales nucléaires (800 F/Kw éolien en 1975 pour l'éolienne Twind au Danemark contre 2500 F/Kw nucléaire), les grandes éoliennes verront leur coût diminuer avec la production en série (les Etats-Unis espèrent descendre à 500 F/Kw installé d'ici dix ans). Les essais montreront si leur fiabilité est suffisante face aux contraintes dues aux vents tournants et tourbillonnants pour les préférer aux grands rotors Darrieus plus simples qui sont insensibles aux changement de sens des vents.

Certaines recherches enfin s'orientent vers un tout autre système éolien : les aérogénérateurs à vortex qui utilisent et multiplient l'effet tourbillonnant et

dépressif du vent pour actionner une hélice. C'est là probablement une voie d'avenir que nous évoquerons au 3^e chapitre.

L'énergie verte de la biomasse

Qu'est-ce que la biomasse ?

C'est l'ensemble des végétaux et des animaux. Depuis qu'ils existent, les hommes l'ont utilisée pour se nourrir, se chauffer, puis se vêtir, s'abriter, se meubler et, enfin, pour en tirer des produits chimiques, des médicaments, du papier...

Hormis le bois, la biomasse est surtout utilisée pour l'*alimentation* ; elle nous apporte directement des sucres, des huiles, des protéines, des vitamines, des oligoéléments⁵. Elle sert aussi à l'alimentation des animaux d'élevage qui apportent un complément en protéines nécessaires à notre organisme. Mais la biomasse, c'est aussi de l'*énergie* : avant l'utilisation du charbon, c'est le bois qui assurait les besoins essentiels de chauffage des habitants, des ateliers, des fours et des cuisinières. Et l'avoine était cultivée pour fournir aux chevaux l'énergie nécessaire à leur force de traction.

L'exploitation de la biomasse à des fins énergétiques, que nous allons maintenant étudier, redevient

⁵ Eléments chimiques présents en quantités infimes, mais indispensables à notre organisme. Il s'agit, par exemple, du calcium, du potassium, du fer, du magnésium...

aujourd'hui rentable pour de nombreux usages. Elle offre aussi d'autres avantages qui seront déterminants pour l'avenir ⁶ :

- c'est de l'énergie stockée et renouvelable indéfiniment ;
- elle est facilement transformable en combustibles pouvant remplacer tout autre combustible produit à partir de pétrole ou de charbon ;
- elle respecte l'équilibre des cycles écologiques de la biosphère si elle est rationnellement développée ;
- elle est source de matières premières organiques.

De l'énergie solaire stockée

Par le mécanisme complexe de la photosynthèse, les végétaux utilisent l'énergie lumineuse du soleil pour transformer le gaz carbonique de l'air et l'eau en de nombreux produits chimiques, principaux constituants des plantes : sucres, celluloses, hémicelluloses, lignines. Ils contiennent surtout du carbone, constituant essentiel du charbon de bois, du charbon, de la tourbe, du lignine et du pétrole.

Ainsi, grâce à l'énergie solaire, les plantes fabriquent de véritables réserves de composés chimiques qui sont de l'énergie chimique stockée. Si on les brûle, ils restituent l'énergie solaire sous forme de chaleur. On estime généralement que les plantes

⁶ Pour plus de détails, voir *la biomasse, énergie verte*, FGA-CFDT, Syros, 1981.

convertissent ainsi naturellement entre 0,1 et 6 % de l'énergie solaire qu'elles reçoivent.

En Alsace, la biomasse fixe en moyenne 0,6 % de l'énergie solaire, soit 6,6 TEP par hectare et par an. C'est théoriquement suffisant pour couvrir les besoins totaux en énergie. Mais, comme ce rendement est faible comparé à ceux d'autres procédés solaires, et qu'il est indispensable d'utiliser les surfaces disponibles pour cultiver les végétaux, nous n'utiliserons la biomasse que pour des usages où nous avons besoin d'énergie stockée sous forme de combustibles solides (bois, paille), liquides (alcools, essences, huiles) ou gazeux (biométhane, gaz pauvre...)

biomasses	masse de matière produite (t/ha.an)	contenu énergétique (en TEP/ha.an)
biomasses lignocellulosiques :		
. taillis énergétiques	10 (matière sèche)	4
. canne de Provence	20 (matière sèche)	8
. graminées et légumi- neuses fourragères	15 (matière sèche)	6
. maïs entier	15 (matière sèche)	6
. paille	4 (matière sèche)	1,6
biomasses à « sucres » :		
. betteraves	7 (sucre)	2,3
. topinambour	8 (sucre)	2,6
. pommier	6,5 (sucre)	2,1
. vigne	2,5 (sucre)	0,8
biomasses à « huiles » :		
. colza	1 (huile)	0,9
. tournesol	0,9 (huile)	0,8

d'après S. Meriaux, INRA, Paris

L'exploitation de la biomasse pour produire de l'énergie mobilise donc beaucoup de surfaces en concurrence avec la production alimentaire. C'est pourquoi il faut choisir parmi les espèces actuellement plantées celles qui seront source d'énergie dans l'avenir.

La biomasse la plus productive en énergie dans l'avenir sera constituée :

- de *plantations énergétiques*, à base de taillis à courte révolution coupés tous les cinq ans environ, capables de produire 15 tonnes de matière sèche (TMS) par hectare et par an à long terme ; ce chiffre est encore inférieur aux prévisions suédoises de 20 TMS/ha.an sur grandes surfaces pour l'an 2015. Les rendements actuels sont de 12 TMS/ha.an avec peupliers en parcelles expérimentales et 16 à 18 TMS/ha.an avec des saules ;

- de *cultures énergétiques* à base de graminées et légumineuses en place toute l'année, qui produiront à long terme 18 TMS/ha.an. A titre de comparaison, la betterave fourragère offre des rendements de 50 à 60 TMS/ha.an ; les légumineuses comme la luzerne (15 TMS/ha.an) ont l'avantage d'enrichir les sols en azote.

Du point de vue de l'écologie, les plantations énergétiques ont un impact certain sur la flore et la faune de leurs lieux d'implantation, puisqu'on coupe les taillis tous les cinq ans environ. Il ne s'agit donc pas de transformer toute forêt en plantation énergétique, mais de recoloniser les espaces abandonnés et de réserver des surfaces à cette production à part des surfaces forestières. Enfin, le mélange d'espèces ou

les alternances d'espèces différentes, accompagné d'un amendement humique suffisant en compost, permet de maintenir les équilibres des sols.

Le développement des cultures énergétiques à fixation symbiotique de l'azote de l'air permet de diminuer les apports d'engrais dans des proportions importantes (deux tiers environ pour la luzerne par rapport au ray-grass). Pour évaluer les ressources de la biomasse en Alsace, nous retiendrons le chiffre communément admis de 0,4 TEP/TMS qui représente le contenu énergétique moyen d'une tonne de biomasse sèche.

Nous examinons maintenant les techniques qui permettent de valoriser l'énergie de la biomasse.

Les techniques de conversion thermochimique

Elles utilisent la *biomasse sèche* (bois, paille, sarments etc...) pour obtenir de la chaleur et des combustibles liquides et gazeux. Il s'agit de transformations rapides, qui peuvent être automatisées et fonctionner en continu. La fiabilité est bonne et certaines d'entre elles sont déjà en activité industrielle.

la combustion directe

Le progrès technique a considérablement amélioré les procédés de combustion, tant pour les rendements que pour l'automatisation. Si le rendement d'une cheminée classique n'est que de 10 % (ce qui exclut son utilisation comme telle), il passe à 30-50°

lorsqu'elle est équipée de récupérateurs de chaleur. Le rendement des chaudières à bois est aujourd'hui de 70 à 90 %, ainsi que celui des chaudières à paille. On peut alimenter ces chaudières sans difficulté par chargement automatique de combustible granulé ou de briquettes.

On fera appel à ces procédés pour satisfaire les besoins en chaleur des habitations rurales pour lesquelles l'apport solaire n'est que de 60 % environ et pour les habitations mal exposées (vallées ombragées, par exemple). Ceci ne sera possible que dans la mesure où la biomasse pourra fournir de telles quantités sans contrainte pour le marché du bois. Nous étudierons cette possibilité dans le troisième chapitre. Il est à noter que cette filière est aujourd'hui déjà très rentable, tant pour les chaudières à bois que pour celles à paille ou à rafles de maïs, comme celle de M. Brendlé, agriculteur à Obersaasheim (Haut-Rhin).

Ainsi, si l'on situe le prix du stère de bois à 250 F, soit 2 000 F/TEP, le bénéfice réalisé est de l'ordre de 1 100 F pour chaque tonne de fuel économisée (3 140 F en mars 83 d'après Bâtiment-Energie).

la pyrolyse ou carbonisation

Dans un four à pyrolyse, on chauffe la biomasse sèche à plus de 400 °C à l'abri de l'air pour la décomposer simultanément en charbon de bois, liquides organiques (jus pyroligneux et goudrons) et gaz combustibles.

Le charbon de bois, connu depuis 3 000 ans, présente un pouvoir calorifique de 50 % supérieur au bois et brûle avec un meilleur rendement. Il représente la moitié de l'énergie du bois pyrolysé.

Le jus pyroligneux et les goudrons sont combustibles (40 % de l'énergie du bois). Mais ils ont aussi une grande valeur chimique, puisqu'ils contiennent des fractions importantes de méthanol, d'acides acétique et formique, d'acétone, d'huiles diverses, et peuvent à ce titre être récupérés, distillés et valorisés comme produits chimiques. C'est la voie choisie par la seule usine en France qui fabrique le charbon de bois, à Premery, dans la Nièvre.

Le gaz enfin est un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone ($H_2 + CO$) combustible. Il représente 10 % de l'énergie du bois pyrolysé.

L'intérêt de la pyrolyse est donc important, puisqu'elle est source de combustibles et de produits chimiques. Certains procédés permettent de fabriquer un combustible solide à partir du charbon de bois et du jus pyroligneux sous forme de granulats. Un des intérêts supplémentaires de la pyrolyse est qu'elle peut traiter sur place le bois dans les forêts de montagne par petites installations transportables. Le rendement moyen de la pyrolyse est de 75 % environ.

la gazéification

Il y a plus de 150 ans que l'on sait gazéifier les végétaux. La biomasse est décomposée par la chaleur en présence d'oxygène ou d'air soigneusement dosé.

Il se forme :

- soit du gaz pauvre, combustible utilisable pour faire tourner un moteur (tracteur, groupe électrogène, camion). C'est ainsi que fonctionnaient les gazogènes pendant et juste après la seconde guerre ;

- soit du gaz de synthèse $\text{CO} + \text{H}_2$, très important dans l'industrie chimique, car il sert à la fabrication directe du méthanol et d'autres produits de base,

Un nouveau gazogène pour transformer le bois en méthanol

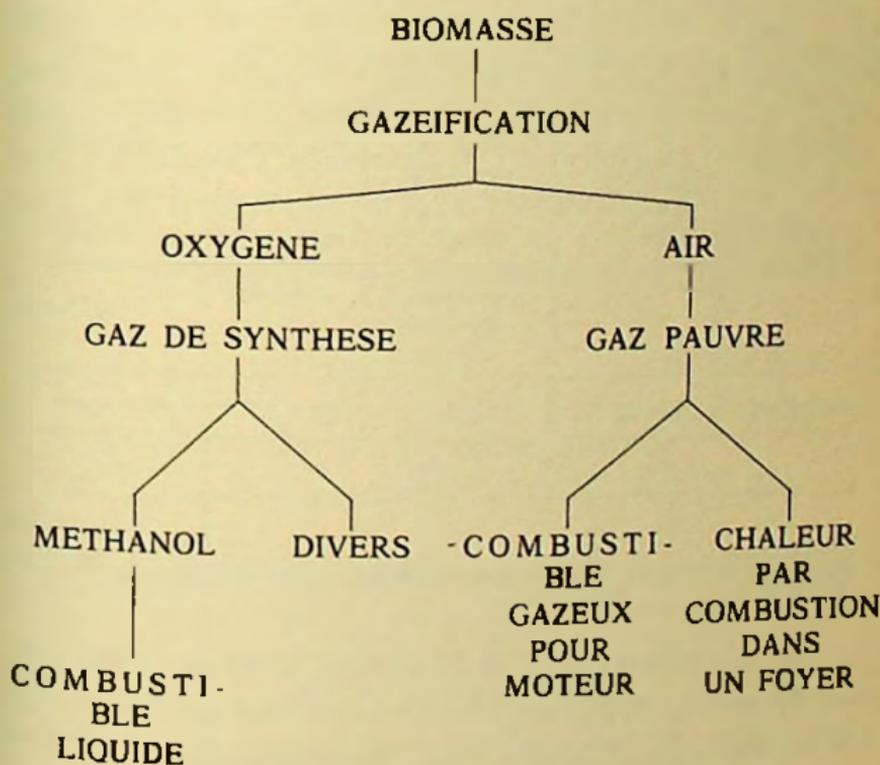
Le méthanol est un alcool important : excellent combustible liquide et grand produit de base pour l'industrie chimique organique, on peut aujourd'hui le produire de manière rentable à partir du bois.

Le gazogène industriel Creusot-Loire qui fonctionne depuis deux ans en France est le plus avancé des procédés actuels de gazéification : il transforme en gaz puis en méthanol 200 kg de biomasse sèche (copeaux de bois par exemple) par heure en la portant à 1 200 °C sur un « lit fluidisé » sous pression, avec injection de vapeur et d'oxygène.

Une unité de gazéification de 120 tonnes/heure doit être construite en 1983 dans l'usine Rhône-Poulenc de Clamecy. Ce sera la première usine au monde.

ainsi que des essences par le procédé Fischer-Tropsch. La voie méthanol est certainement la plus intéressante et rentable ; on obtient 5 t de méthanol à partir de 10 tonnes de matière sèche en ne consommant qu'une TEP d'énergie, alors que la synthèse de 5 t de méthanol par le gaz naturel consomme actuellement 8,75 TEP.

Le rendement de la synthèse de méthanol par biomasse est de 70 à 80 %, et il est d'ores et déjà moins coûteux énergétiquement de produire une TEP de méthanol qu'une TEP de super carburant, et il est plus rentable de la produire à partir de la biomasse que de gaz naturel.



la liquéfaction

Encore au stade expérimental, elle consiste à transformer la biomasse en un combustible liquide proche du fuel, par chauffage à 300 °C sous pression élevée.

Notons enfin que la simple pression à chaud de végétaux oléagineux fournit des huiles utilisées déjà aujourd'hui comme combustibles pour les moteurs diesel des tracteurs par exemple.

Nous résumons ci-dessous les caractéristiques principales des procédés thermochimiques de transformation de la biomasse.

Produit de départ : biomasse sèche (moins de 30 % d'eau)

Procédé de conversion	Combustion directe	Pyrolyse ou carbonisation	Gazéification	Liquéfaction
Matériel	Poêle, chaudière	Four à pyrolyse	Gazogène	à l'étude
Produit final	Chaleur	Charbon de bois + jus pyroligneux + goudrons + gaz	Gaz pauvre ou gaz de synthèse	Hydrocarbures
Rendement	70 - 90 %	75 %	75 - 80 %	bon

Les techniques de conversion biochimiques

Elles s'appliquent à la *biomasse humide* : fumiers, lisiers, marcs, algues, déchets végétaux (feuilles), jus d'abattoirs, betteraves, topinambours, etc.

La conversion biochimique de la biomasse s'opère en deux étapes :

- décomposition de la matière pour casser les molécules telles que la cellulose ou l'amidon en molécules plus petites de « sucres ». Cette décomposition peut être obtenue par hydrolyse par voie enzymatique ou par fermentation aérobie (c'est-à-dire à l'air) ;

- réduction des sucres en alcools, en mélange acétone-butanol-éthanol ou obtention de biométhane par fermentation anaérobie (à l'abri de l'air).

Ces conversions sont longues (quelques semaines au minimum), ce qui exige des installations volumineuses et des investissements élevés. Elles sont parfois délicates à mettre en œuvre, car les processus biologiques sont sensibles à la température, à certaines substances toxiques, à la pression... Elles parviennent néanmoins à une bonne fiabilité.

Leur intérêt est limité comme le sont les rendements :

Produit de départ	Biomasse humide (50-90 % d'eau environ)		
	Hydrolyse	Fermentation alcoolique	Fermentation méthanique
Principaux procédés de conversion			
Combustible final	Alcool ou acéto-alcool		Méthane
Rendement	10 à 40 %		40 à 50 %

la fermentation méthanique

Elle est intéressante et rentable pour valoriser les déchets agricoles, animaux et industriels humides. Elle permet de traiter sur place de grosses quantités

Méthane, l'exemple chinois

35 millions de Chinois utilisent du méthane à partir de déchets organiques.

7 millions de cuves fonctionnent à des fins domestiques mais aussi pour faire fonctionner des moteurs (irrigation, etc...)

Science et Vie n° 757, octobre 1980

de biomasse humide, non transportable. Elle peut être utilisée à la ferme ou à l'usine pour le traitement des déchets de laiteries, de conserverie. Le traitement des eaux usées de Paris à Achères produit 15 000 TEP de biométhane.

La méthanisation de la biomasse liquide est opérée naturellement par les bactéries présentes dans la matière, à l'intérieur de grandes cuves hermétiques. Il se forme du gaz méthane et du dioxyde de carbone et le résidu constitue un compost de bonne qualité (bon rapport carbone sur azote, matière digérée, sels minéraux, texture proche de l'humus). Le temps de fermentation est d'un mois environ.

Une fois épuré de son gaz carbonique, le méthane est stockable sur place à l'état comprimé. Etant

difficilement liquéfiable, il est peu intéressant de le transporter et il doit être consommé prioritairement sur les lieux de production.

Cette filière est particulièrement adaptée au traitement des déchets agricoles et d'élevages humides,

Les vinasses d'Armagnac produisent du méthane

Depuis janvier 1982, la Société Générale pour les Techniques Nouvelles, en collaboration avec l'INRA, fait fonctionner un digesteur industriel permettant la transformation en gaz méthane des rejets de distillerie de Condom, grâce à un nouveau procédé : on fait adhérer les bactéries méthanogènes sur un film plastique immergé dans les effluents de vinasse de vins blancs, trop liquides pour être méthanisés par les procédés habituels.

En deux jours, la fermentation produit 6 m³ de biogaz par m³ de digesteur et par jour, à 66 % de méthane. Ceci permet de couvrir la moitié de la consommation énergétique annuelle de la distillerie en brûlant cet excellent combustible qu'est le méthane.

Ce type d'installation convient très bien pour tous les rejets liquides de brasseries, huileries, levureries, confiseries, porcheries, etc. Un avenir pour l'Alsace du vin blanc, de la bière et de la choucroute...

(source : *Industries et techniques*, 20.1.83)

avec une production moyenne de 200 m³ de méthane par tonne de matière sèche (400 théoriquement). Les installations sont rentables à partir de 30 bovins ou 500 porcs. Une installation peut servir à plusieurs agriculteurs pour leur consommation propre et celle d'activités non saisonnières demandant une production de chaleur et de froid par réfrigérateur (boulangerie, boucherie-charcuterie).

L'évaluation du potentiel productif en méthane peut se faire à partir des unités de gros bétail (UGB) qui permettent de comptabiliser les cheptels.

Troupeau	UGB	Déchet	kg déchet/ jour	l méthane/kg déchet	jours/an	TEP/UGB an
Bovin	1	lisier	5	200	200 *	0,1
		fumier	5	450	200	0,26
Ovin	0,1	fumier	0,35	450	200	0,19
Porcin	0,25	lisier	1,2	400	365	0,35
Volaille	0,01	lisier	0,02	400	365	0,15
Lapin	0,01	lisier	0,02	400	365	0,15

d'après Zeller, INRA, Paris

* exclut les périodes passées au pâturage

les fermentations alcooliques

Pour obtenir des alcools, trois voies sont possibles :

— production de méthanol par pyrolyse ou gazéification à l'oxygène (déjà étudiée) ;

- production d'éthanol par fermentation (sucres fermentescibles) ;

- production d'un mélange d'acétone, butanol, éthanol, par fermentation acétonobutylique.

Les sucres fermentescibles sont les glucides. L'amidon et la cellulose peuvent être avantageusement transformés en glucides par hydrolyse. L'hydrolyse enzymatique réalisée par des levures et des bactéries laisse espérer des performances supérieures à l'hydrolyse chimique par les acides.

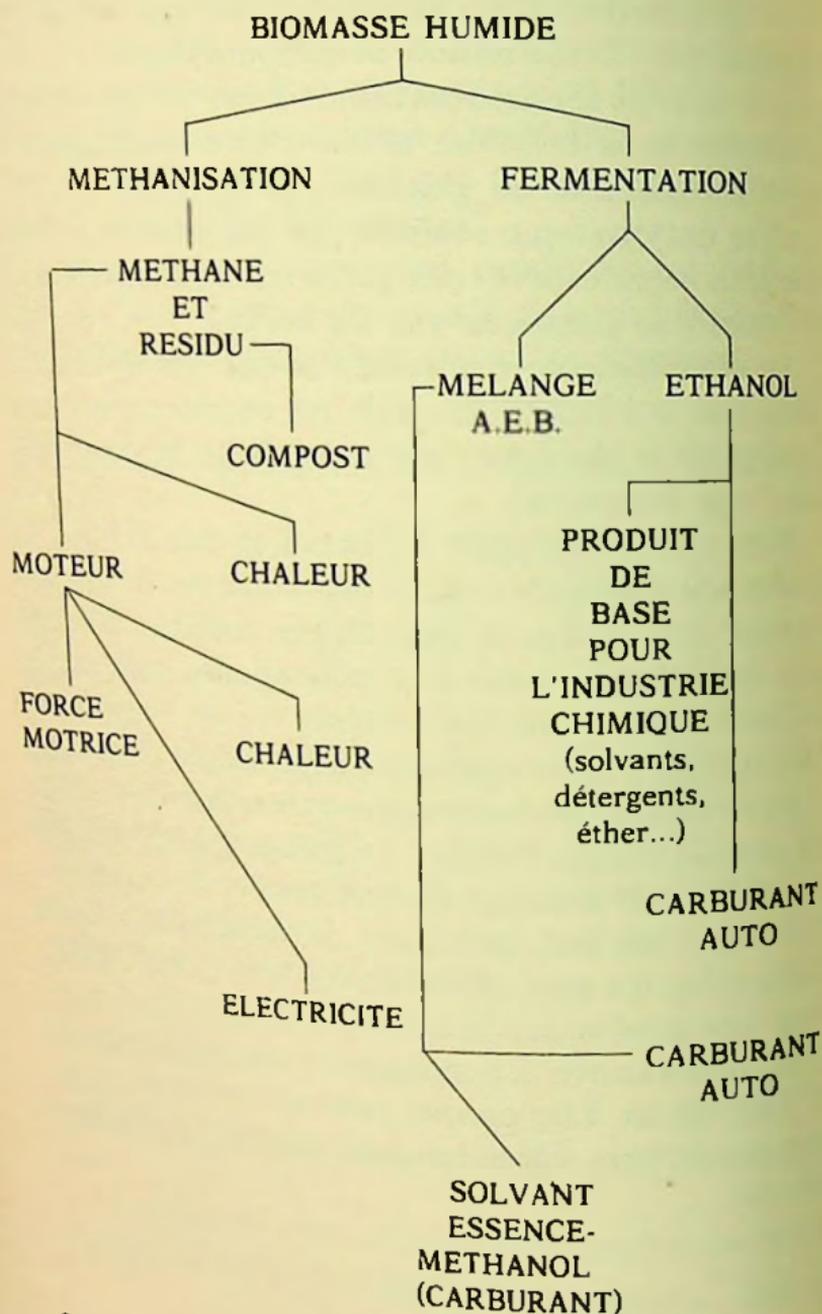
De cette hydrolyse dépend l'avenir des fermentations qui à l'heure actuelle ne concerne qu'une fraction de la biomasse (par exemple 16 % de sucres dans une betterave).

Bien que développée au Brésil et aux U.S.A., la *production d'éthanol* comme carburant par fermentation sur des levures n'apparaît pas rentable. Elle est plus favorable à partir de topinambours qu'à partir de betteraves. Son seul intérêt est de remplacer l'alcool de synthèse nécessaire à l'industrie chimique.

La *fermentation bactérienne acétonobutylique*, elle, est connue depuis Pasteur. Le mélange ABE⁶ permet par addition le mélange du méthanol et de l'essence ; c'est aussi un bon carburant de substitution. Cette filière offre un rendement de 0,3 à 0,35 TEP/TMS. Pour une production betteravière de 36 TMS/ha.an, cela représente un potentiel énergétique de 12 TEP/ha.an. Elle permet enfin de traiter de nombreuses variétés végétales, contrairement à la filière éthanol.

6 ABE : acétone-butand-éthanol.

On peut résumer ainsi les possibilités des filières biochimiques de conversion de la biomasse :



Les complexes agro-énergétiques

L'utilisation rationnelle de la biomasse exigera la récolte systématique des déchets agricoles, industriels et domestiques. Elle devra couvrir en priorité les besoins du secteur agricole et agroalimentaire, permettant son utilisation sur place.

Elle associera agriculteurs, forestiers et transformateurs par des contrats d'approvisionnement assurant la fourniture de la biomasse aux installations de transformation qui formeront des complexes agro-énergétiques.

Certains seront à la taille d'une ferme, d'un village, d'autres couvriront un canton pour assurer une collecte répartie sur toute l'année. Des unités seront spécialisées dans la gazéification, d'autres traiteront aussi bien des déchets agricoles que des déchets urbains.

Nous retiendrons de la présentation des techniques de conversion de la biomasse les *rendements énergétiques moyens* suivants :

Plantations énergétiques :

- productivité de 15 TMS/ha.an
- principales espèces : taillis à courte révolution
- contenu énergétique : 6 TEP/ha.an

Cultures énergétiques :

- productivité de 18 TMS/ha.an
- principales espèces : graminées et légumineuses
- contenu énergétique : 7,2 TEP/ha.an

Déchets humides :

- lisiers et fumiers issus de l'élevage (voir tableau)
- sous-produits agricoles humides (tiges et feuilles de maïs, feuilles et collets de betterave) : 0,18 TEP/TMS
- procédé : fermentation anaérobie méthanogène
- autoconsommation : environ 30 %

Déchets secs :

- productivité : 0,8 TEP/ha.an de déchets forestiers ; variable selon les déchets agricoles
- contenu énergétique : 0,4 TEP/TMS
- autoconsommation : environ 0,05 TEP/TMS

Déchets ménagers :

- potentiel brut : 0,15 TEP/tonne d'ordures

III - Un scénario à long terme

Nous avons essayé d'abord d'analyser les contraintes énergétiques et géopolitiques vers le milieu du prochain siècle et de mettre en regard les réponses possibles en termes de besoins énergétiques, de démographie, de mode de développement régional pour notre pays. Nous avons pris ensuite connaissance des techniques de conversion de l'énergie solaire, qui nous apparaît comme la seule source

d'énergie pouvant satisfaire globalement à long terme les besoins énergétiques de notre pays comme de tout autre pays.

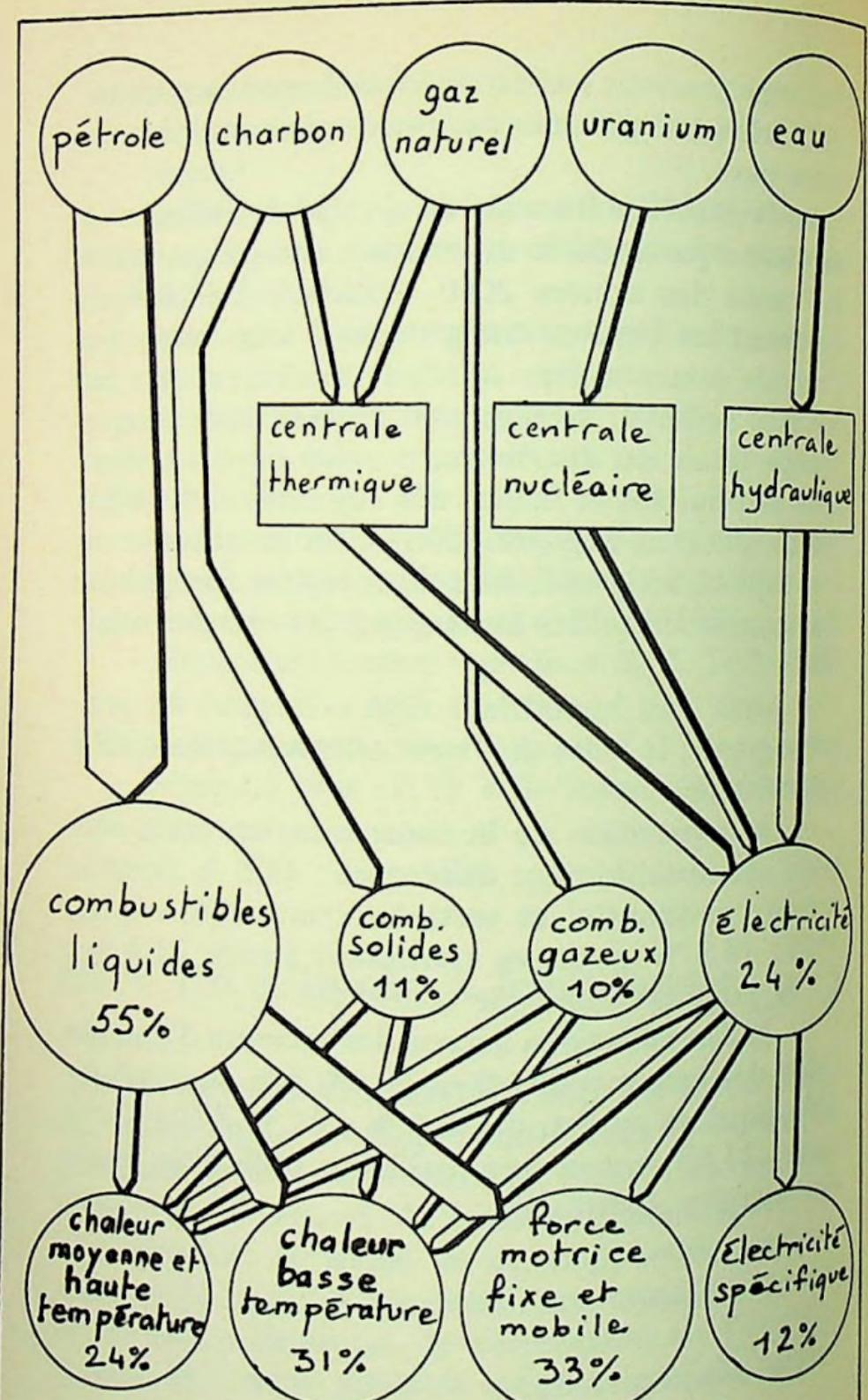
Le *Projet Alter* français du groupe de Bellevue⁷ a esquissé à partir de là un scénario énergétique pour la France des années 2050. Il montre précisément comment les besoins énergétiques à long terme des Français peuvent être satisfaits totalement par les énergies solaires, secteur par secteur, pour chaque énergie finale ou distribuée, et selon quelles techniques disponibles et fiables dès aujourd'hui. Ce n'est pas un plan, ni une prévision ; c'est un scénario où l'on explore les possibilités d'un régime énergétique d'autosatisfaction des besoins par les énergies solaires.

A partir des hypothèses déjà présentées en première partie, le *bilan* du *Projet Alter* français s'établit comme suit :

– la répartition de la consommation entre secteurs est notablement différente : 43,5 % pour le secteur résidentiel et tertiaire contre 36,8 % en 1975 ; 14,5 % pour les transports contre 21,4 % ; 6,7 % pour la sidérurgie contre 8,5 % ;

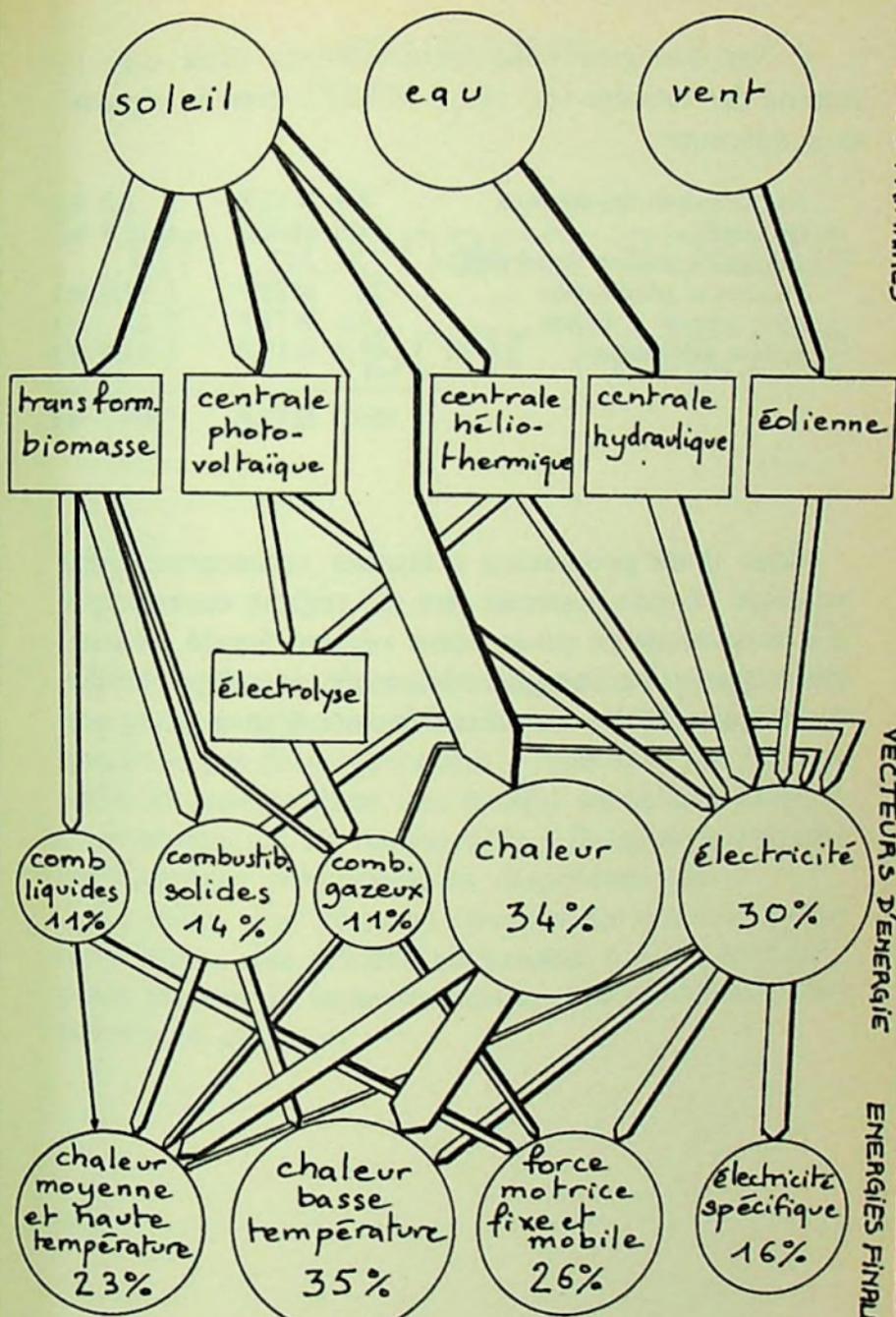
– la diversification accrue des vecteurs d'énergie (34 % de chaleur contre 0 en 75 ; 10,3 % de combustibles liquides au lieu de 54,6 % ; 31 % d'électricité contre 24,6) permet une meilleure utilisation finale des énergies distribuées ;

⁷ voir chapitre I, IV, 31.



SCHEMA ENERGETIQUE DE LA FRANCE EN 1975

ENERGIES PRIMAIRES



VECTEURS D'ÉNERGIE

ENERGIES FINALES

SCHEMA ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE
ESQUISSE A LONG TERME

- les énergies solaires couvrent plus que la totalité des besoins (de 141,5 MTEP), avec la répartition suivante :

· récupération des déchets .	4,4 MTEP	(2,8 %)
· biomasse	40,3 MTEP	(25,8 %)
· électricité solaire (centrales solaires et photopiles)	28 MTEP	(17,9 %)
· hydraulique - éolien	34,2 MTEP	(22 %)
· solaire thermique	49,1 MTEP	(31,5 %)
	<hr/>	
	156 MTEP	(100 %)

Nous nous proposons d'étudier maintenant plus en détail ce que pourrait être un régime énergétique d'autosubsistance pour notre région, fondé exclusivement sur des énergies renouvelables, à partir des techniques fiables et utilisables en Alsace.

CHAPITRE III

un scénario solaire pour l'Alsace

Notre Projet Alter Alsace est une prospective énergétique régionale. Il consiste simplement à répondre à ces deux questions : Quels sont nos besoins réels en énergie dans une société où chacun dispose d'un niveau de vie confortable ? De quelles énergies indéfiniment renouvelables disposons-nous ?

Le bilan que nous en tirerons servira à prendre conscience des efforts régionaux à entreprendre, pour assurer la lente transition vers un avenir sans pétrole ni charbon.

I - Les besoins énergétiques en Alsace

La consommation d'énergie aujourd'hui

Les secteurs industriel et tertiaire sont plus développés et consomment proportionnellement plus d'énergie en Alsace qu'en France. Mais les distances parcourues sont plus courtes et les dépenses de transport y sont plus faibles.

Le tableau ci-dessous résume la répartition actuelle des consommations d'énergie par secteur en Alsace. Globalement, elles représentent 3 % de la consommation française d'énergie.

Secteur	énergie 1980 (1978)	répartition	répartition en France	comparaison Alsace/France
Résidentiel	1315	24,5 %	25,5 %	0,96
Tertiaire	853	15,5 %	12,5 %	1,24
Transports	850 (825)	16 %	22 %	0,75
Agriculture				
Industrie	2365 (2369)	44 %	40 %	1,1
Total	5365 (5414)	100 %	100 %	

Source CEREN

Cette consommation d'énergie correspond grossièrement à un certain niveau de vie. Ainsi, en 1978, la télévision était présente dans 81 % des foyers, le

réfrigérateur dans 94 %, et 65 % des ménages possédaient une voiture.

Les vecteurs d'énergie d'aujourd'hui

Bien que surproductrice en électricité, l'Alsace consomme surtout du pétrole et du gaz. Peu de réseaux de chaleurs existent, et ne sont pas recensés par l'INSEE. Il s'agit de réseaux d'eau chaude produite par des usines d'incinération comme à la ZUP de Mulhouse, par récupération de chaleur industrielle comme à la raffinerie de Reichstett ou de centrales de chauffe comme à Saint-Louis.

Vecteur d'énergie	Consommation en kTEP			Production en kTEP		
	1975	1978	1980	1975	1978	1980
Chaleur	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)
Combustibles solides	261	213	208	3	-	-
Combustibles liquides	2648	2947	2681	3	-	-
Combustibles gazeux	590	1004	1074	(7)	(7)	(7)
Electricité hydraulique				1742	1950	1905
Electricité thermique				245	260	225
Electricité nucléaire				-	2630	2445
Total électricité	1086	1414	1515	1987	4840	4575
Total énergies	4585	5578	5478	2093	4840	4575

Sources INSEE et EDF

Nous évaluerons approximativement à 13 kTEP cette distribution d'eau chaude.

On remarque que l'électricité d'origine hydraulique produite en Alsace est globalement suffisante pour couvrir les besoins en électricité, bien qu'en puissance installée, les usines hydrauliques sur le Rhin ne soient pas suffisantes pour passer les pointes de consommation d'hiver ; nous discuterons de cette situation dans le paragraphe consacré au bilan.

Les besoins énergétiques à long terme

Ils sont évalués par secteur et par vecteur d'énergie, comme nous l'avons expliqué en seconde partie.

Vecteurs d'énergie

Chaleur	BT	basse température (inf. à 100 °C)
	MT	moyenne température (entre 100 et 600 °C)
	HT	haute température (supér. à 600 °C)
Combustibles	CS	solides (charbon, bois, paille...)
	CL	liquides (pétrole, alcool...)
	CG	gazeux (naturel, biogaz, hydrogène)
Electricité	E	

Nos hypothèses reprennent celles exposées dans le Projet Alter Français et tiennent compte des spécificités alsaciennes qui nécessitent des corrections.

comme les conditions climatiques, les habitudes de transport, la structure industrielle existante. Le détail des calculs est exposé pour chaque secteur, permettant une meilleure compréhension des hypothèses choisies.

Pour des raisons de clarté et de style, nous avons préféré conserver le présent de l'indicatif dans l'exposé des besoins et des productions à long terme.

Rappelons que la population alsacienne s'établit à 1,8 millions de personnes dans un régime démographique stable.

Les besoins d'énergie du secteur résidentiel en Alsace

Ces besoins s'élèvent à long terme à 2,95 TEP par ménage et par an.

Usage	Vecteur d'énergie	Besoins par ménage TEP/an	Alsace kTEP
Chauffage	BT (basse température)	1,8	1080
Eau chaude sanitaire	BT	0,44	265
Cuisine	CG (combustible gazeux)	0,11	65
Electroménager Eclairage Régulation	E (électricité)	0,60	360
Total		2,95	1770

- Chauffage :** l'énergie annuelle Q consommée pour chauffer un logement est : $Q = 24.G.V.DJU^1$ en kilocalories (kcal).
- G est le coefficient d'isolation thermique d₁ logement. Actuellement de 1,3 en moyenne, il sera de 1 en moyenne à long terme, ce qui représente un objectif facile à atteindre.
 - V est le volume moyen des appartements : 250 m³ pour une surface habitable de 100 m² et une hauteur de 2,5 m.
 - DJU est le nombre de degrés jours unifiés, représentant la durée de chauffe moyenne annuelle. A Mulhouse, DJU vaut 2948. Nous évaluons donc Q à 18 millions de kcal, soit 1,8 TEP par an.
- Eau chaude :** actuellement, un ménage consomme en moyenne 7,5 thermies par jour, soit 0,27 TEP par an. Le Projet Alter français estime les besoins de 0,36 à 0,44 TEP par an. Nous retenons la valeur maximale pour l'Alsace.
- Cuisine :** La cuisine nécessite 2,5 à 3 thermies par jour, soit au maximum 0,11 TEP par an.
- Electricité :** 0,6 TEP par an selon le Projet Alter français.

Les besoins annuels du secteur résidentiel en Alsace pour 600 000 ménages seront donc de 1770 kTEP, répartis comme suit :

Besoins du secteur résidentiel

Vecteurs d'énergie	kTEP
BT basse température	1345
CG combustibles gazeux	65
E électricité	360
Total	1770

¹ D'après la revue des industries thermiques et aérauliques, 1975, p. 425.

Les besoins d'énergie du secteur tertiaire en Alsace

Le secteur tertiaire représente les établissements scolaires, hospitaliers, commerciaux, administratifs, hôteliers, culturels, sportifs, etc...

Chauffage des locaux

Le volume moyen de locaux tertiaires par habitant, actuellement de 19 m^3 , est de 23 m^3 à long terme si l'on augmente les locaux d'enseignement, de soins hospitaliers, de crèches-garderies, d'hôtels à tourisme social. Le volume total à chauffer est de 51,3 millions de m^3 ($1,8 \text{ M} \times 23 \times 1,24$), compte tenu de l'importance du tertiaire en Alsace (facteur correctif de 1,24 par rapport à la France, p. 94).

Les locaux tertiaires sont moins isolés mais aussi moins occupés que les locaux résidentiels ; leur consommation annuelle d'énergie est globalement la même, soit 71 thermies² par m^3 .

L'énergie consommée pour le chauffage des locaux tertiaires en Alsace est donc de 365 kTEP par an.

Besoins des cuisines

En admettant qu'un repas est pris à l'extérieur pour deux à domicile, les besoins sont de la moitié

² Une thermie = un million de calories = 1,16 kwh

de ceux du secteur résidentiel, soit environ 35 kTEP par an, sous forme de combustibles gazeux.

Consommation d'électricité spécifique : elle est utilisée pour l'éclairage public et celui des locaux, pour les machines diverses (ordinateurs, matériel audiovisuel, machines de laboratoire...), le petit électroménager, l'entretien des locaux, les télécommunications, etc...

Nous l'évaluons – en fonction de la projection nationale du Projet Alter français de 6 MTEP et du facteur de correction de 1,24 – à 225 kTEP par an.

Dans le tableau ci-dessous, nous résumons les besoins à long terme de ce secteur et nous portons en regard les chiffres de 1980 (source D.I.I.).

Besoins du secteur tertiaire en Alsace

Vecteur d'énergie	Energie à long terme (kTEP)	Energie en 1980 (kTEP)
Chaleur BT	365	-
Combustibles solides	-	20
Combustibles liquides	-	425
Combustibles gazeux	35	60
Electricité	225	250
TOTAL	625	755

Une économie globale d'énergie d'environ 32 % est donc réalisée puisque notre projet tient compte de la modification des habitudes de consommation et des investissements à réaliser pour économiser l'énergie.

Les besoins du secteur transport en Alsace

En 1980, les consommations de ce secteur se répartissaient comme suit :

Vecteur d'énergie	Combustibles liquides	Electricité	Total
énergie en kTEP	792	58	850

Source D.D.I.

La consommation d'électricité est essentiellement celle des chemins de fer. Les carburants liquides sont consommés à raison de 446 kTEP d'essence par les voitures, 267 kTEP de gazole par les camions, 46 kTEP de kérosène par les avions et 33 kTEP de gazole par les péniches. Nous évaluons maintenant les besoins à *long terme* en Alsace.

Pour le transport des personnes

- Déplacements par motocycles : un tiers de la population parcourt 2 000 km en moyenne par an, soit au total $600\,000 \times 2\,000 = 1\,200$ millions de km (Mkm). Pour une consommation de 12 TEP/

Mkm, soit 1,5 l./100 km, la consommation s'élève à 15 kTEP environ.

- Déplacements locaux à moins de 100 km : ils sont effectués essentiellement par voitures personnelles, louées ou taxis. Chacun des 600 000 ménages possède une voiture qui parcourt 5 000 km par an avec 1,5 personne à bord en moyenne. Pour une consommation de 50 TEP/Mkm, soit 6 l./100 km, la consommation totale s'élève à 150 kTEP. On considère qu'un tiers des véhicules roulent au gaz, les deux autres tiers avec un carburant liquide.

Cette réduction de consommation de 446 kTEP en 1980 à 150 kTEP à long terme est rendue possible par : la réduction de consommation des véhicules de un tiers (6 litres au lieu de 9 litres) qui ramène la consommation à 357 kTEP ; la réduction des trajets qui passent d'environ 12 000 km à 5 000 km par an, ramenant au chiffre de 150 kTEP.

- Déplacements collectifs par transports en commun de moins de 100 km : dans les agglomérations importantes, les transports en commun sont considérablement améliorés (confort, cadences, dessertes) pour éviter l'engorgement des rues par les voitures, faciliter les déplacements des personnes et économiser les carburants ; chaque citadin parcourt ainsi 2 000 km par an, contre 1 000 actuellement en région parisienne. Les 1 350 000 Alsaciens vivant en ville parcourent au total 2 700 Mkm/an. Si la consommation du transport en commun est de 2 litres/100 km par voyageur (actuellement, elle est de 2,3 pour le métro, de 2 pour les autobus), soit 15 TEP/Mkm, la demande totale est de 40 kTEP

environ. La moitié est consommée sous forme d'électricité (tramway), l'autre sous forme de combustibles gazeux (mini-bus hybride muni d'un système récupérateur d'énergie de freinage).

– Déplacements à longue distance (plus de 100 km) : ils se font essentiellement par chemins de fer car les lignes entre petites agglomérations sont installées ou remises en service, particulièrement dans toutes les vallées vosgiennes, pour lesquelles les déplacements sont considérés comme étant de longue distance.

Les besoins passent ainsi de 750 km/an par voyageur à 3 000, à raison de 12 TEP/Mkm \times voyageur, soit au total 65 kTEP environ d'électricité.

– Déplacements par air réservés aux liaisons à très grande distance : ils sont évalués à 400 km/an par habitant, en faible augmentation par rapport à aujourd'hui, car les moyens de télécommunications sont plus développés. La consommation par voyageur étant de 100 TEP/Mkm, les besoins sont au total de 75 kTEP.

Transports : gagner ou perdre du temps ?

L'Américain moyen consacre plus de 1 600 heures à son automobile, soit 4 heures par jour de conduite et de travail pour la payer.

D'après Illich, *Energie et Equité*

Le tableau ci-dessous récapitule les besoins des transports de personnes en Alsace :

Mode de transport	Moyenne d'un trajet par personne	Besoins d'énergie (kTEP)			
		CL	CG	E	Total
Motocycle (1 personne sur 3)	environ 700 km/an	15	-	-	15
Voiture (1,5 personne par voiture)	environ 7500 km/an (5 000 km par voit.)	100	50	-	150
Transports collectifs (3 personnes sur 4)	environ 1 500 km/an	-	20	20	40
Chemin de fer	3000 km/an	-	-	65	65
Avion	400 km/an	75	-	-	75
TOTAL		190	70	85	345

Pour le transport des marchandises

Les hypothèses faites sont basées sur la priorité donnée aux transports ferroviaires (et fluviaux dans une moindre mesure ³) sur les transports routiers.

³ Si l'énergie par tonne transportée est moins élevée pour le transport fluvial que pour le transport ferroviaire, l'investissement est plus lourd financièrement et énergétiquement. L'impact écologique parfois assez négatif ; le temps de transport plus long et les possibilités d'extension limitées.

ces derniers étant limités aux très courtes distances (livraisons, desertes locales).

Moyen de transport	Vecteur d'énergie	Consommation en TEP/km.millions de t.
Route	CL ou CG	50
Chemin de fer	E	12
Navigation fluviale	CL ou CG	15
Oléoduc	E	4

D'autre part, on tient compte de l'accroissement des biens d'équipement (1,54 fois le niveau de 1973) et des biens de consommation courante (1,33 fois le niveau de 1973), mais on fait l'hypothèse d'une croissance nulle (régime stable) pour les biens d'équipement, d'un renouvellement plus lent des biens produits, d'économies d'énergie dans les processus de fabrication (15 % en moyenne).

Le trafic des biens de consommation courante est donc augmenté d'un facteur 1,5 par rapport à 1973, alors que celui des biens d'équipement diminue de 40 %. Finalement, les projections du Projet Alter français, corrigées du facteur Alsace/France, aboutissent à la répartition suivante :

Transport des marchandises : CL : 75 kTEP ; CG : 45 kTEP ; E : 15 kTEP.

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des besoins de transport à long terme en Alsace, qui s'élève à 480 kTEP, au lieu de 850 kTEP en 1980, grâce à une rationalisation et une optimisation des transports et une adaptation de l'activité industrielle aux besoins intérieurs en biens de consommation et d'équipement.

Vecteurs d'énergie	Transport des personnes (kTEP)	Transport des marchandises (kTEP)	Total (kTEP)
Combustibles liquides CL	190	75	265
Combustibles gazeux CG	70	45	115
Electricité E	85	15	100
Total	345	135	480

Les besoins d'énergie du secteur agricole

Les évaluations sont souvent difficiles et incomplètes. Le CEREN donne une consommation globale de 34 kTEP pour ce secteur en 1978, ce qui semble très faible par rapport à la moyenne française. En fait, si l'on tient compte de la plus faible mécanisation de l'agriculture alsacienne et de la petitesse des exploitations agricoles, on obtient à long terme une consom-

mation globale de 50 kTEP environ avec la répartition suivante :

Chaleur BT : 10 kTEP ; CS : 5 kTEP ; CL : 10 kTEP ; CG : 15 kTEP ; E : 10 kTEP.

Les besoins des plantations et cultures énergétiques sont décomptés de leur production et la consommation d'énergie pour la fabrication d'engrais est attribuée au secteur industrie (chimie).

Les besoins d'énergie du secteur industrie

La structure industrielle alsacienne est très différente de celle de la France et beaucoup plus orientée vers la production de *biens de consommation courante* (chimie, agro-alimentaire, papier-carton, textile) que de *biens d'équipement*. Au total, le secteur industrie absorbait, en 1980, 43,5 % des besoins en Alsace, contre 37,9 % pour la France, soit un facteur de correction de 1,15.

Dans la perspective post-industrielle de stabilité qui est la nôtre, il y a accroissement des biens de consommation, mais stabilisation des biens d'équipement. L'industrie alsacienne étant déjà orientée vers cette nouvelle structuration, le facteur correctif est ramené à 1,1 pour le long terme si l'on conserve cette spécificité.

L'industrie consomme davantage de chaleur BT en Alsace qu'en France, mais moins de chaleur HT du fait de l'absence de sidérurgie.

Les besoins à long terme s'établissent à 54 MTEP pour l'industrie française, soit pour l'Alsace 1 800 kTEP environ ⁴, avec la répartition suivante :

Vecteurs d'énergie	Part du vecteur (Projet Alter français)	Part du vecteur en Alsace (1980)	Part du vecteur en Alsace à long terme	Energie kTEP	
Chaleur BT	7,7 %	-	9 %	180	
MT	11,2 %	-	11 %		
HT	5,6 %	-	5 %		
	} 24,5 %		} 25 %		200
	}		}		70
Combustibles					
CS	28 %	3,5 %	26,7 %	480	
CL	2,3 %	37,5 %	2,2 %		
CG	9 %	32 %	11,1 %		
	} 39,3 %		} 40 %		40
	}		}		200
Electricité	36,2 %	27 %	35 %	630	

Une part plus importante est faite au gaz et à la chaleur, du fait de l'importance actuelle de ces vecteurs dans l'industrie alsacienne et du développement à moyen terme de la géothermie permettant de récupérer et de stocker les rejets thermiques industriels aussi bien que la chaleur solaire.

Répartition des besoins d'énergie à long terme en Alsace

L'ensemble des calculs par secteurs que nous venons d'effectuer sont résumés dans les tableaux ci-dessous pour 1980 et pour le long terme.

$$^4 1\ 800\ \text{kTEP} = 3 / 100 \times 1,1 \times 54\ 400\ \text{kTEP}$$

Besoins d'énergie en Alsace en 1980

vecteur d'énergie secteur d'utilisation	Chaleur			Combustibles			Electricité E	Total	
	BT	MT	HT	CS	CL	CG		kTEP	%
Résidentiel				105	720	155	405	1385	25,8
Tertiaire				20	425	60	250	755	14,1
Transports				2	806	-	42	850	15,8
Agricole				-	34	-	1	35	0,7
Industriel				77	808	700	755	2340	43,6
TOTAL				204	2793	915	1453	5365	100

Source D.I.I.

Besoins d'énergie en Alsace à long terme

secteurs \ vecteurs	BT	MT	HT	CS	CL	CG	E	Total	
								kTEP	%
Résidentiel	1345					65	360	1770	37,5
Tertiaire	365					35	225	625	13,2
Transports	-				265	115	100	480	10,2
Agriculture	10			5	10	15	10	50	1
Industrie	180	200	70	480	40	200	630	1800	38,2
TOTAL	1900	200	70	485	315	430	1325	4725	100

Notre prospective pour le long terme entraîne donc une structure très différente de celle que nous vivons dans la répartition des vecteurs d'énergie et dans l'importance relative des secteurs : une grande place est accordée au vecteur chaleur (réseaux d'eau chaude) ; la part respective de chaque type de combustible est équilibrée ; le secteur transport, mieux adapté qu'aujourd'hui, consomme moins ; les ménages consomment davantage grâce à un meilleur confort mieux réparti ; l'activité industrielle répond aux vrais besoins avec le minimum de pertes.

Comment les énergies du soleil peuvent-elles répondre à ces besoins ? Nous évaluons dans ce qui suit le potentiel d'énergie renouvelable en Alsace.

II - Les ressources du soleil en Alsace

Le chauffage solaire

Nous avons vu dans le deuxième chapitre les moyens de capter l'énergie solaire directe avec des capteurs solaires pour obtenir de la chaleur basse température, essentiellement utile au chauffage. Par concentrateurs solaires, on obtient de la chaleur moyenne température pour des applications industrielles ou pour le chauffage urbain avec échangeurs de chaleur.

Le chauffage de l'habitat rural (150 000 logements)

Le chauffage par capteurs solaires basse température (insolateurs) intéresse *l'habitat isolé de moins de 10 logements*. Les habitations des vallées ombragées, les maisons individuelles à l'ombre de grands arbres ne sont pas concernées, soit un tiers environ de l'habitat rural (50 000 logements), dont les besoins de 112 kTEP sont couverts par d'autres techniques (combustibles solides).

Pour le reste (100 000 logements), la chaleur basse température est stockée dans les murs, dans des nappes souterraines de faible profondeur ou dans des cuves à eau, à sels fondus, etc... La productivité de ces installations est au minimum de 200 TEP par hectare de capteurs par an, ce qui correspond à 270 litres d'équivalent pétrole, produits par 10 m² de capteurs plans, stockage et déstockage compris.

En disposant de 50 m² par logement, les 100 000 logements solaires offriront 500 hectares de capteurs capables de produire 100 kTEP par an. Les surfaces mobilisées sont des toits ou des surfaces annexes aux habitations sans emprise particulière au sol.

Ce type de chauffage n'est pas autonome en plein hiver et nécessite un appoint de 124 kTEP, différence entre les 224 kTEP nécessaires à ces 100 000 logements et les 100 kTEP obtenues ; l'autonomie solaire est ici de 45 %, alors que la moyenne admise pour ce type de construction est de 50 à 60 %. Nos hypothèses sont donc modestes.

Le chauffage solaire collectif

En Alsace, le chauffage par réseau de chaleur sera initialement d'origine géothermique, car la géothermie servira à amorcer la distribution de chaleur à court et moyen termes. Puis *les réservoirs géothermiques serviront de stockage à de l'eau surchauffée l'été par des concentrateurs solaires* : la géothermie deviendra héliogéothermie.

L'eau surchauffée vers 200°C sous pression peut être transportée sur quelques dizaines de kilomètres. Les centrales solaires à concentrateurs cylindro-paraboliques sont implantées à proximité des réservoirs de stockage qui peuvent être des réservoirs géothermiques ou des cuves de stockage souterraines. Leur productivité est de l'ordre de 300 TEP par hectare par an, stockage et déstockage compris, ce qui correspond à un rendement moyen annuel de 20 % par rapport à l'énergie solaire incidente.

Ces centrales peuvent chauffer :

- tout l'habitat résidentiel urbain, soit 450 000 logements ;

- presque tout le secteur tertiaire (soit 85 %) dont les infrastructures sont situées dans les villes et les bourgs (écoles, hôpitaux, commerces, hôtels...); les 15 % du tertiaire non solaire (vallée, montagne, hôtels ruraux...) disposeront d'autres méthodes de chauffage : combustion, pompe à chaleur dont l'électricité est d'origine hydraulique ou éolienne ;

- les trois-quarts des locaux industriels et agricoles.

Ce mode de chauffage entièrement solaire n'a d'intérêt que si les besoins sont entièrement couverts sans qu'il soit besoin d'alimenter les réseaux de chaleur par des chaudières qui ne fonctionneraient que l'hiver. La demande en chaleur est élevée, si bien que les investissements en capteurs sont plus vite amortis, malgré un ensoleillement plus faible que dans le reste de la France.

La *surface de capteurs* est en moyenne de 75 m² par logement pour fournir les 2,24 TEP annuelles nécessaires au chauffage de l'eau et des locaux, avec une productivité de 300 TEP/ha.an. Une ville comme Colmar devrait disposer de centrales solaires dont la surface totale serait de 115 hectares pour chauffer ses 15 000 logements. C'est un nouveau paysage qui se dessine.

Bilan du chauffage solaire basse température

Il apparaît dans le tableau ci-dessous où figure également l'évaluation des surfaces de capteurs nécessaires pour l'ensemble de l'Alsace.

Le bilan des ressources en énergie solaire basse température est donc loin d'être négligeable : 1 560 000 tonnes de pétrole économisées, soit 82 % des besoins de chauffage BT, ou 35 % des besoins d'énergie en Alsace. Les surfaces de capteurs sont importantes (4870 ha, essentiellement autour des villes), mais non rédhibitoires, en comparaison des surfaces prises par les échangeurs autoroutiers ou les zones industrielles inutilisées. A titre de comparaison, le schéma d'orientation et d'aménagement

pour l'Alsace prévoit une exploitation des gravières sur 16 100 hectares.

	Besoins totaux (kTEP)	Besoins couverts par le solaire		Appoints nécessai- res (kTEP)	
		%	kTEP		Surface (ha)
Résidentiel rural	335	30	100	-	235
Résidentiel urbain	1 010	100	1 010	3 370	-
Tertiaire	365	85	310	1 030	55
Industrie Agriculture	190	75	140	470	50
TOTAL	1 900	-	1 560	4 870	340

L'ensoleillement en Alsace n'étant pas suffisant, nous ne prévoyons pas d'obtenir directement la chaleur moyenne et haute températures par centrales solaires. Les autres filières solaires que nous étudions peuvent y pourvoir.

L'énergie du vent

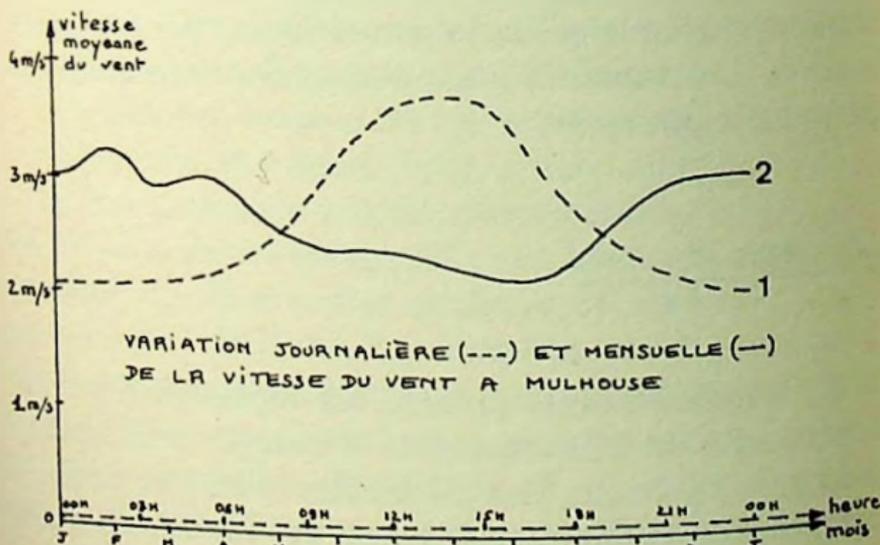
A l'échelle de notre planète, les déplacements d'air constituent un immense flux d'énergie sous forme d'énergie cinétique des molécules d'air, au régime complexe, variable dans le temps et l'espace. Une des

caractéristiques essentielles de cette énergie est cette mobilité diffuse, qu'il faut donc capter par des moyens mécaniques capables de convertir de l'énergie cinétique en énergie électrique essentiellement, éventuellement en énergie thermique ou en énergie mécanique de pompe et de compression.

D'origine thermique (voir 2^e chapitre, II, 4), l'énergie du vent (ou énergie éolienne) dépend du rayonnement solaire. C'est ce qui explique qu'elle est plus importante en hiver qu'en été.

Le régime des vents en Alsace

Les mesures statistiques effectuées par la Météorologie nationale à Strasbourg, Mulhouse et Colmar, permettent d'avoir un tableau précis de ces régimes, à 13 m environ du sol.



On constate immédiatement sur ce graphique l'intérêt pratique de l'énergie éolienne, dont la répartition pendant la journée (courbe 1) et pendant l'année (courbe 2) coïncide presque exactement avec celle de la consommation alsacienne. Le stockage d'énergie journalier et intersaisonnier en est de ce fait réduit.

Mais ceci ne doit pas cacher le caractère irrégulier et aléatoire du vent pendant la journée et même d'une heure à l'autre. D'une année à l'autre, les écarts de vitesse moyenne peuvent être très importants, de l'ordre de 35 % pour la vitesse moyenne annuelle et jusqu'à 100 % pour le double de cette vitesse. Nous discuterons dans la dernière partie de cet ouvrage des possibilités de régulariser le régime, non pas des vents, mais de l'énergie éolienne.

Pour déterminer *l'énergie moyenne récupérable en Alsace*, il est nécessaire de connaître :

- la vitesse moyenne du vent au lieu considéré ;
- le nombre d'heures pour lequel la vitesse du vent a été supérieure à tel seuil (2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, etc., jusqu'à 20 m/s).

Les seules mesures complètes disponibles sont celles de la Météorologie nationale pour la plaine d'Alsace. Elles montrent que le vent a une vitesse moyenne de 2,7 m/s à 13-14 m du sol ; sa vitesse est comprise entre 2,7 m/s et 5,4 m/s pendant 2700 heures environ ; elle est supérieure à 5,4 m/s pendant 1500 heures environ par an.

En altitude, la vitesse du vent augmente avec la hauteur h par rapport au sol selon une fonction de type $V/V_0 = (h/h_0)^\alpha$ où α est une constante dépen-

dant de la rugosité du relief. En plaine, $\alpha = 0,2$ environ.

D'autre part, la vitesse des vents s'accroît en présence de pentes (massifs montagneux), ce qui entraîne une vitesse moyenne plus importante aux sommets des Vosges ou dans la trouée de Belfort. D'après les chiffres disponibles, nous avons pris en compte une vitesse moyenne de 5,8 m/s au Grand Ballon d'Alsace et établi une relation entre vitesse moyenne et altitude du sommet considéré, afin de déterminer l'énergie récupérable.

Energie éolienne disponible en Alsace

Nous avons déterminé le type d'éolienne à installer selon le lieu géographique : massif vosgien d'une part, plaine d'autre part. Aucune mesure n'est disponible pour la trouée de Belfort. Néanmoins, un calcul correctif sera introduit en fin de bilan. Pour les calculs énergétiques, le régime des vents en montagne a été considéré comme lié à celui des vents en plaine.

Des éoliennes puissantes sur les Vosges

Les techniques progressant rapidement, on ne peut aujourd'hui fixer définitivement le type de l'éolienne de puissance qui sera celui des années 2050. Mais les calculs énergétiques restent les mêmes, seuls les rendements pouvant être améliorés. Nous avons donc dressé le portrait-type de cette éolienne, en

sachant qu'il peut être modifié ultérieurement et amélioré par les progrès techniques :

- axe horizontal bi ou tripale (ou axe vertical)
- diamètre d'hélice : 60 m
- hauteur de l'axe au sol : 60 m environ
- puissance nominale modulable en fonction du site : 388 w/m^2 au Grand Ballon, soit 1,1 Mw
- rendement total : 69 % par rapport à la limite de Betz (*)
- vitesse du vent nominale = 2 fois la vitesse moyenne du vent sur le site.

L'énergie récupérable par m^2 est calculée sur la base de 1500 heures de vent supérieur à la vitesse nominale et 2700 heures de vent entre la vitesse de démarrage et la vitesse nominale. Sur cette base, l'énergie réellement fournie par l'éolienne est de l'ordre de $775 \text{ kwh/m}^2.\text{an}$ au Grand Ballon ; l'éolienne de 1,1 Mw y produit donc environ 445 TEP/an.

La répartition des éoliennes sur les crêtes vosgiennes se fait selon un rapport de 8 entre la distance entre éoliennes et leur diamètre ; il correspondrait donc à une éolienne tous les 500 m environ en moyenne, emplantées aux endroits productifs. Seules ont été prises en compte les grandes crêtes continues en les classant d'après leur altitude (1 400 m à 800 m ; 800 m à 600 m ; 600 m à 400 m), en tenant compte des effets d'écran des hautes crêtes sur les petites. L'évaluation est plus difficile pour les Vosges du Nord, pour lesquelles nous avons pris des hypo-

(*) voir 2^e chapitre, p. 67

thèses basses (peu de lignes de crêtes entre 600 m et 400 m).

L'ensemble des hypothèses présentées ci-dessus sont des hypothèses moyennes dont nous discuterons les fondements et les conséquences dans la suite. Nous n'avons pas repris à notre compte les hypothèses trop optimistes de 3200 kwh/m².an (limite de Betz) d'EDF au Grand Ballon, ni l'hypothèse de 4 éoliennes de 2 Mw par km² du Projet Alter breton. Tous calculs effectués, nous aboutissons au bilan suivant : environ 1000 éoliennes de puissance installée sur les Vosges peuvent produire en électricité l'équivalent de 222 kTEP par an en moyenne.

Une multitude de petites éoliennes dans la plaine

Là encore, nos hypothèses sont moyennes :

$$\frac{\text{surface des éoliennes}}{\text{surface au sol}} = \frac{1}{1000}$$

pour préserver l'équilibre du régime des vents, soit 13 éoliennes par km².

- éolienne de 10 m de Ø et de 10 m de hauteur fonctionnant à plein régime pour une vitesse nominale de 5,4 m/s.

- puissance nominale de 40 w/m² d'éolienne, soit 3kw environ.

- énergie effectivement produite : 80 kw/h/m².an, beaucoup moins que les 330 kwh/m². an correspondant à la limite de Betz.

- énergie annuellement produite par éolienne : 1,4 TEP/an.

Le bilan est le suivant : environ 83000 éoliennes fournissent 116 kTEP sous forme d'électricité. Cette énergie est directement utilisable sur place, le surplus peut être stocké par voie électrochimique pour une autonomie de 15 jours sans vent. Les éoliennes peuvent être interconnectées en petits réseaux locaux ou reliées à des fermes autonomes etc...

Les quelque 420 km² situés vers la trouée de Belfort fournissent environ 12 kTEP supplémentaires.

Le bilan s'établit ainsi :

Lieu	Nombre d'éoliennes	Diamètre	Energie annuelle produite
Vosges	1 000	60 m Ø	222 kTEP
Plaine	83 000	10 m Ø	116 kTEP
Trouée de Belfort (Sundgau)	5 300	10 m Ø	12 kTEP
Total Alsace			350 kTEP

L'installation d'un millier d'éoliennes de puissance sur l'ensemble des Vosges alsaciennes représente un effort industriel important. D'un point de vue esthétique, la présence d'éoliennes de 60 m de haut implantées tous les 500 m environ sur les crêtes princi-

pales ou éparpillées sur de nombreuses hauteurs peut sembler de mauvais goût, voire choquante. Certains aspects du problème doivent cependant être considérés :

- La forme des grandes éoliennes a considérablement évolué depuis les lourds modèles métalliques des années 55 à 65 ; les éoliennes actuelles de 2 Mw ont une ligne très élancée et fine et le profil des pales s'est nettement affiné et allégé par l'emploi de nouveaux matériaux.

- Un poteau de 60 m paraît moins haut en montagne que dans une plaine, alors qu'on accepte bien la présence de châteaux d'eau aux abords des villages de plaine (moins nombreux, il est vrai).

- L'intégration d'un ouvrage humain dans un paysage est très subjective : on peut trouver laide ou plaisante à l'œil la présence d'un barrage en montagne ; on apprécie généralement celle des moulins à vent dans la plaine hollandaise qui ont aussi un rôle énergétique intéressant (pompage de l'eau).

- Le calcul que nous avons effectué constitue une possibilité d'équipement ; il a surtout l'intention d'évaluer le potentiel éolien raisonnablement récupérable. Les lieux d'implantation sont en fait des cas particuliers pour chaque éolienne.

- La puissance produite par chaque éolienne est suffisamment petite pour être transportable dans les vallées par simples câbles enterrés de basse tension, dont on peut espérer qu'ils seront moins chers et plus perfectionnés dans quelques dizaines d'années.

En plaine, les 83000 éoliennes de petite taille permettraient l'autonomie de nombreuses habita-

tions ou de petits réseaux électriques locaux par couplage sur le 50 Hz par génératrices asynchrones. La taille évoquée (diamètre 10 m) est une moyenne qui est adaptable au régime des vents locaux, particulièrement au pied des Vosges ou dans certaines vallées très ventées. D'autres endroits ne peuvent pas recevoir d'éoliennes de petite taille (bois, forêts essentiellement).

Il y a là pour l'Alsace un nouveau pôle industriel et artisanal à développer et pour les organismes publics et universitaires une recherche à entreprendre.

De nouveaux procédés éoliens se profilent à l'horizon : ce sont les aérogénérateurs à vortex et les centrales aérogéothermiques, évoquées en fin de ce chapitre (III, 4). Ils peuvent bouleverser toutes les données du problème et rendre inutile la construction d'éoliennes classiques.

L'énergie de l'eau

La grande diversité et les contrastes du relief alsacien, la présence de grandes nappes phréatiques, font que si notre région reçoit en moyenne moins de pluie que l'ensemble de la France, les cours d'eau s'écoulant du massif vosgien ou des contreforts du Jura représentent un potentiel d'énergie important. Et l'on sait la place que tient le Rhin dans la production hydroélectrique française (environ 10 %).

Si l'exploitation des ressources hydrauliques n'est plus une nouveauté et bénéficie d'une longue expé-

rience, il reste qu'aujourd'hui, seule une partie de ces ressources est utilisée. Dans notre scénario à long terme, quelle place occupera l'énergie hydroélectrique sur la palette des énergies solaires ?

L'hydrologie alsacienne

En ne considérant que le régime de pluviosité en Alsace, aux écarts fort importants (2 m au Grand Ballon d'Alsace ; moins de 0,6 m autour de Colmar), on peut évaluer grossièrement l'ordre de grandeur de l'énergie que représente le ruissellement des eaux superficielles des hauteurs des Vosges ou du Sundgau aux limites basses de la plaine d'Alsace.

Ainsi, notre région reçoit en moyenne 8 milliards de m³ de pluie par an, dont 2,7 forment le ruissellement de surface, le reste s'enfonçant dans le sol ou s'évaporant⁵. Un tel écoulement sur une dénivellation régulière de 800 m pourrait fournir jusqu'à 1,3 MTEP⁶, à comparer avec la consommation totale de l'Alsace à long terme (4,7 MTEP).

Ces eaux de ruissellement se rassemblent en cours d'eau plus ou moins gros et une partie de cette énergie est dissipée par le frottement et les sinuosités du relief.

Le régime hydraulique des rivières est étroitement dépendant du régime de la pluviosité. Il est de ce fait plus important en hiver qu'en été, contrairement au Rhin dont les étiages sont hivernaux.

⁵ D'après l'Agence de Bassin Rhin-Meuse

⁶ Une méga-TEP vaut 1 million de TEP.

Un potentiel énergétique important

La petite hydroélectricité

Pour évaluer l'énergie potentielle moyenne des rivières et la part récupérable que l'on peut escompter, nous nous servons des relevés de débits des différentes stations de jaugeage établis par le Service régional d'Aménagement des Eaux. Méthode de calcul : le débit moyen est pris en compte, ce qui laisse ouverte la possibilité d'un suréquipement de certains cours d'eau.

Ce débit moyen Q (en m^3 par seconde) croît avec la distance à la source et dépend donc de l'altitude h de l'endroit où on le mesure. Entre deux stations de jaugeage et jusqu'à la source, on peut approximativement considérer que le débit est une fonction décroissante de la hauteur du type $Q(h) = - a.h + b$. (les constantes a et b sont propres à la portion de rivière considérée). La puissance théorique de cette portion de rivière est calculée par intégration (P en kw = $-\int_{h_1}^{h_2} Q(h).g.dh$ avec $g = 9,8 \text{ m/s}^2$) et la puissance totale de la rivière est la somme de la puissance de ces portions. L'énergie annuelle que l'on peut en tirer au maximum est alors directement déduite : $E = P \times 365 \times 24$ (en kwh).

Le bilan s'établit ainsi pour l'ensemble des rivières alsaciennes :

Andlau
Bruche

20 millions de kwh
113 millions de kwh

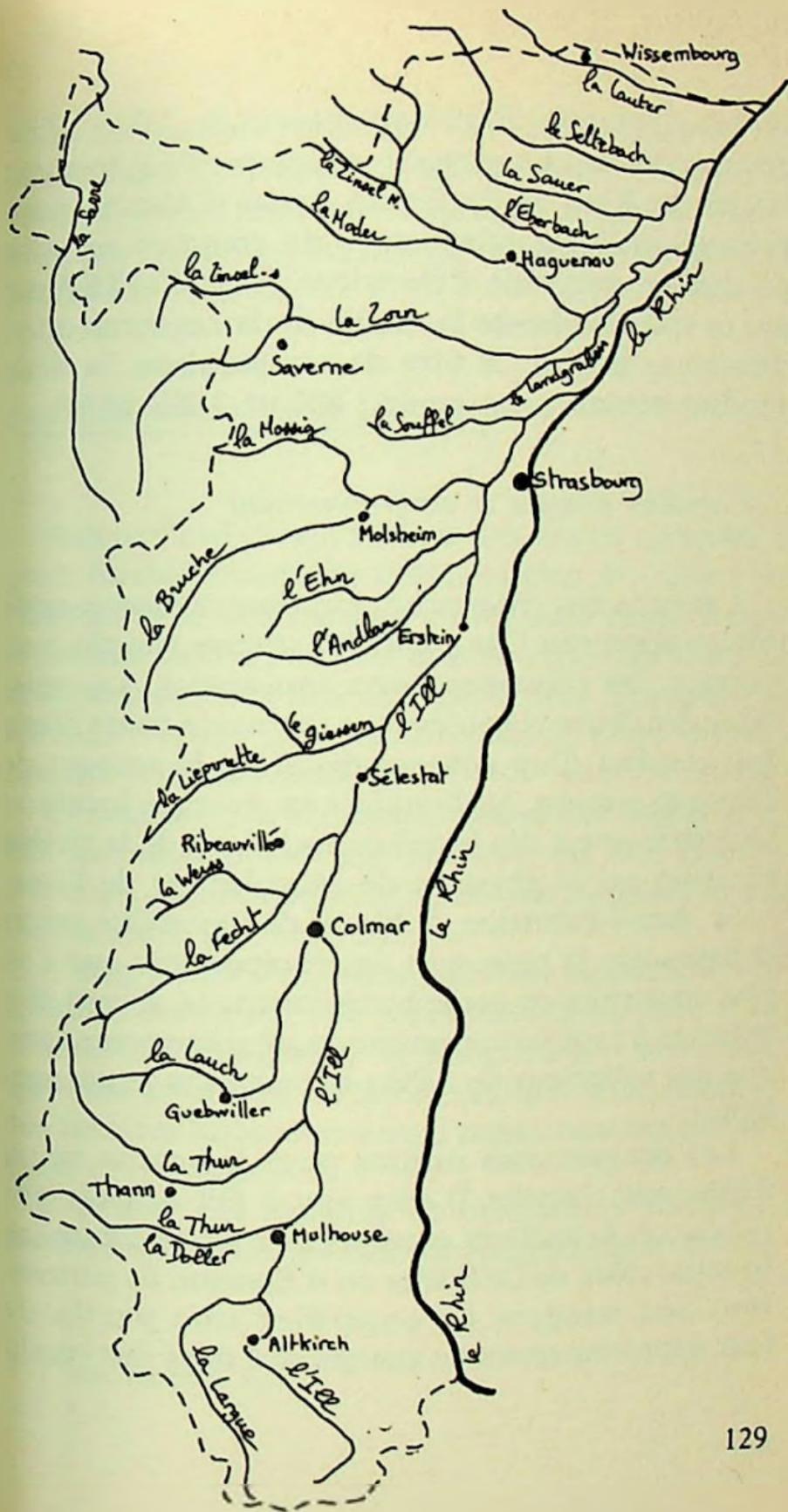
Doller	70 millions de kwh
Fecht	167 millions de kwh
Giessen	12 millions de kwh
Ill	210 millions de kwh
Largue	15 millions de kwh
Lauch	49 millions de kwh
Liepvrette	23 millions de kwh
Moder + Zinsel	30 millions de kwh
Sauer	19 millions de kwh
Thur	95 millions de kwh
Weiss + Bechine	90 millions de kwh
Zorn	24 millions de kwh
TOTAL	937 millions de kwh

Ce potentiel moyen maximal théorique représente une énergie de 208 kTEP, soit 4,4 % de la consommation de l'Alsace à long terme.

Mais toute cette énergie ne peut et ne doit pas être utilisée : selon les lieux, il faut effectuer des aménagements canalisés, conserver des débits de garde pour les périodes d'étiage afin de préserver la faune et la flore, tenir compte des besoins locaux en eau...

Nous considérons que seulement 15 % à 20 % de cette énergie peut raisonnablement être employée pour produire de l'électricité, avec des rendements supérieurs à 80 %. Cela représente 30 kTEP.

Le Rhin : en comparaison, les 34 milliards de m³ d'eau que le Rhin écoule par an de St-Louis à Lauterbourg constituent une formidable ressource d'énergie. Un calcul identique aux précédents abou-



tit à un potentiel théorique moyen de 2 900 kTep environ par an. En prenant en compte l'équipement actuel du Rhin et du Grand Canal d'Alsace, nous pensons qu'il est raisonnable de compter sur une production moyenne d'électricité de 2 200 kTep par an, ce qui représente la moitié de la consommation alsacienne prévue. A titre de comparaison, le Rhin produit actuellement entre 1 800 et 2 200 kTep.

Concilier énergie et environnement

L'énergie des rivières est, par nature, une énergie décentralisée que l'on a intérêt à utiliser sur place en fonction des consommateurs avoisinants. La puissance des chutes à équiper sur un même cours d'eau doit résulter d'un compromis entre le respect de l'environnement, la demande en énergie locale et l'échelonnement des installations le long de la rivière nécessité par la physique de l'écoulement de l'eau.

Si, dans l'immédiat, l'objectif de rentabilité prime et détermine la puissance des équipements que l'on peut construire en petite hydroélectricité, il peut être envisagé à long terme certains suréquipements lorsque des variations de débits importantes le permettent.

Les équipements utilisés pour les petits cours d'eau (voir chapitre 2) sont tout à fait adaptés aux ressources financières et techniques d'une commune (comme celles de La Bresse ou d'Erstein). Ils permettent aux usagers de contrôler une partie de leur approvisionnement énergétique dans des condi-

tions de rentabilité assurée ⁷. La construction de tels ouvrages et leur maintenance est créatrice d'emplois locaux plus importants que de grandes unités concentrées, ce qui permet de dynamiser l'économie locale des vallées.

Les ressources de la biomasse

Aujourd'hui, l'exploitation des terres agricoles a pour finalité essentielle l'alimentation humaine ; les ressources forestières sont en majeure partie consacrées aux industries : bois d'œuvre pour les meubles et la construction, bois de râperie pour les papiers et cartons ; seule une petite fraction reste utilisée comme bois de chauffage...

Et pourtant, la biomasse, masse des végétaux et des animaux portés par la terre, est une réserve d'énergie solaire qui se reforme chaque année et qui reste encore peu valorisée.

A long terme, l'utilisation de cette biomasse devra concilier des objectifs de production alimentaire et de production énergétique et industrielle : des terres agricoles seront converties en cultures énergétiques ; des surfaces forestières seront consacrées aux plantations énergétiques...

A priori, ces finalités de production semblent concurrentes. Mais en fait, les avancées de la recher-

⁷ voir chapitre 4, II.

che agronomique permettent d'ores et déjà de les concilier. Dans la suite de cette étude, les surfaces seront donc comptabilisées en fonction de leur finalité principale.

Il ne fait cependant pas de doute que leur répartition dépendra surtout de l'évolution des marchés et des prix des denrées alimentaires ou du bois, comparés à celui de l'énergie importée. Les agriculteurs, les forestiers rechercheront aussi une rémunération décente de leur travail. Tous ces éléments influenceront de façon prépondérante sur l'utilisation des terres.

C'est à travers cette répartition des surfaces que notre projet marque ses choix, fondés sur les *hypothèses* qui suivent :

- subvenir avant tout aux besoins alimentaires de la population alsacienne ;
- maintenir un niveau d'exportation de denrées alimentaires au taux actuel pour les productions les plus typiques : vignes, choux, asperges, tabac, fruits, qui occupent 21 500 hectares ;
- contribuer à l'approvisionnement énergétique de la région.

Nous évaluons donc l'étendue des surfaces nécessaires à l'alimentation de la population alsacienne pour dégager des surfaces à vocation exclusivement énergétique.

Une autre répartition des surfaces

La production des protéines animales

L'estimation que nous allons faire ne tient pas compte des échanges agricoles interrégionaux, de

manière à mieux cerner les impératifs alsaciens en les isolant.

Les besoins alimentaires d'une population dépendent des régimes alimentaires : l'Alsacien est plus gros mangeur de viande que le Français moyen. Pour le long terme, nous estimons que le régime alimentaire en protéines est celui d'un Français en 1974, c'est-à-dire moins carné qu'aujourd'hui. Ceci correspond à une consommation totale de 2720 kilocalories par jour et par personne, avec 45 grammes de protéines animales et 45 grammes de protéines végétales.

On peut donc prévoir qu'à long terme, les Alsaciens (1,8 million de personnes) consommeront 1 790 000 millions de kilocalories (kcal) et 29 600 tonnes de protéines animales par an.

Actuellement, l'agriculture alsacienne, avec une production brute de 27 500 t. de protéines animales, ne couvre guère plus de la moitié de la consommation, le reste étant importé. Il faut, en effet, tenir compte des pertes de 30 % inhérentes aux circuits de distribution entre les lieux de production et l'assiette du consommateur.

Nous pensons qu'il est raisonnable de prendre comme *objectif* une couverture de 75 % des besoins en protéines animales à long terme, soit environ 22 200 t utiles de protéines. Ceci nécessite une production brute de 31 700 t de protéines (avant pertes).

	Production d'aliments en 1978 exprimée en tonnes	Taux de protéines	Masse de protéines produites	Energie en kcal par kg d'aliments	Energie (10 ⁹ kcal)	%
lait	363 300	0,032	11 625	640	232,5	54
œufs	14 250	0,128	1 825	1620	23,1	5
porcs	18 880	0,146	2 755	3510	66,3	15
bovins âgés	26 380	0,164	4 325	2450	64,1	15
jeunes bovins	7 680	0,191	1 470	1900	14,6	3
ovins	1 180	0,180	210	2390	2,8	1
lapins	7 220	0,204	1 470	1590	11,5	2,5
volailles	14 660	0,260	3 810	1380	20,2	4,5
Total	453 550		27 490 (a)		435,1 (b)	100

Estimation des surfaces nécessaires à la production des protéines animales

L'examen de la production de 1978, résumée dans le tableau ci-dessous, montre qu'en moyenne un gramme de protéines animales contient une énergie « calorifique » de 15,8 kcal (b/a).

Nous conservons, dans le régime à long terme, la même répartition des productions animales et, par voie de conséquence, le même taux énergétique de 15,8 kcal par gramme de protéine animale. La production de 31 700 t de protéines animales en 2050 représente donc une énergie de 500 milliards de kcal par an.

Mais, pour produire une calorie animale, il faut produire 6 à 10 calories végétales en herbe, fourrage, etc... selon le mode alimentaire des animaux. Nous calculons donc dans le tableau suivant l'énergie végétale nécessaire à la production des 31 700 t de protéines animales :

long terme	%	énergie des protéines animales en 10 ⁹ kcal	énergie végétale énergie animale	énergie végétale nécessaire en 10 ⁹ kcal
Oeufs	5	25	6	150
Porcs	15	75	7	525
Bovins	15	75	10	750
Lapins	5	25	7	175
Volailles	5	25	7	175
Laits	55	275	6	1 650
Total	100	500	6,85 moyen	3 425

Les surfaces consacrées à la production animale sont des surfaces toujours en herbe (pâturages, prairies) et des cultures fourragères (maïs, trèfle, betterave) dont la productivité, exprimée en millions de kcal par hectare, est très variable. Du fait de la mauvaise utilisation de certaines surfaces toujours en herbe, la productivité moyenne des surfaces consacrées à l'élevage est de l'ordre de 23,5 millions de kcal/ha actuellement. Nous pensons raisonnable d'augmenter ce rendement à 30 millions de kcal/ha pour le long terme, rendement déjà atteint actuellement dans certaines régions de France. *Il faudra donc environ 114 500 ha pour produire les protéines animales nécessaires à long terme.*

Estimation des surfaces nécessaires à l'alimentation humaine

Nous avons précédemment évalué à 1790 milliards de kilocalories l'énergie alimentaire de la population alsacienne à long terme. Il reste donc à assurer la fourniture de 1440 milliards de kcal en dehors des protéines animales, celles-ci présentant 350 milliards de kcal.

En tenant compte des pertes de 50 % propres à la production, au transport, au conditionnement des aliments, il faut que le sol alsacien fournisse 2880 milliards de kcal végétales par an. Les rendements moyens de ces productions végétales étant de 20 millions de kcal par hectare, nous calculons que 144 000 hectares sont nécessaires pour atteindre cet objectif qui assure l'autonomie alimentaire de la région en alimentation végétale non fourragère.

Au total, les surfaces agricoles utiles représentent à long terme environ 280 000 hectares répartis en :

- 114 500 ha pour la production animale
- 144 000 ha pour la production végétale non fourragère
- 21 500 ha pour les cultures typiques (vignes, choux, tabac, asperges, etc.);

Actuellement, la surface agricole utile est de 330 000 ha. Nous constatons donc qu'*il est possible de dégager 50 000 ha* (soit 15 % de la S.A.U.) *qui serviront exclusivement à la production des cultures énergétiques*. Ces cultures énergétiques ont pour finalité la production des combustibles. Ce sont des mélanges d'espèces à haut rendement (entre 18 et 30 tonnes de matière sèche à l'hectare) ; les graminées et les légumineuses y ont une place et un rôle important (fixation de l'azote atmosphérique, bon bilan humique). Elles fourniront une grande partie des combustibles nécessaires à l'Alsace.

Les surfaces boisées

La forêt alsacienne s'étend sur 300 000 ha (33 % du sol, ce qui est supérieur à la moyenne nationale de 25 %). Outre sa fonction écologique, elle assure la fourniture de matière première pour l'industrie, mais une grande partie reste encore peu ou pas exploitée (il s'agit surtout de la forêt privée) et beaucoup de déchets de coupe sont brûlés en pure perte.

En 1980, la production forestière a atteint 1,5 million de m³ dont 1,2 millions de m³ pour le bois d'œuvre et d'industrie et 300 000 m³ pour le bois de

chauffage. Environ 75 % de cette production est transformée en Alsace, le reste est exporté directement.

Nous considérons pour le long terme l'hypothèse selon laquelle l'Alsace couvre ses besoins propres en matière de bois d'œuvre et d'industrie, le reste étant considéré comme énergie disponible sous forme de combustible. Le taux d'exportation sera fonction des excédents disponibles. On peut estimer les besoins en bois d'œuvre et industriel à 980 000 m³ de bois par an. Les rendements d'exploitation forestière étant de 8 m³/ha et par an à long terme en moyenne, 122 000 ha seront réservés à ces besoins incompressibles, même si la généralisation du recyclage du papier permet une économie substantielle du bois (environ 60 %).

La surface boisée restante est de 178 000 ha ; 90 000 ha peuvent être transformés en plantations énergétiques, soit 30 % de la forêt alsacienne. Ce sont des taillis à courte révolution récoltables tous les 3 à 5 ans, composés d'essences à haut rendement du type peuplier ou saule. La part de 30 % est une projection raisonnable qui tient compte de la surface actuellement à l'abandon, de l'entretien productif de toutes les surfaces sous futaies et du respect des équilibres du sol (restitution humique, limitation de l'usage de pesticides).

En résumé, la forêt non énergétique (210 000 ha) est exploitée normalement à raison de 8 m³/ha × an, 122 000 ha étant nécessaires à la production de bois d'œuvre et de bois d'industrie. La forêt énergétique s'étend sur 90 000 ha.

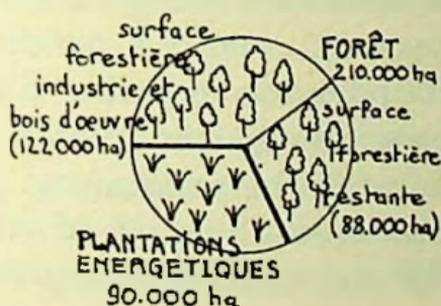
Production d'énergie par la biomasse

Les calculs qui suivent sont fondés sur des moyennes de production établies ou attendues par de nombreuses expériences et recherches, exposées dans certains ouvrages cités en bibliographie. Les techniques de conversion sont fiables, car connues (voir chapitre 2, II).

La forêt

Si actuellement on produit 5 m^3 de bois par hectare en Alsace, ceci ne représente qu'une moyenne. Une forêt bien exploitée aujourd'hui produit déjà 10 m^3 par hectare. Le rendement envisagé de $8 \text{ m}^3/\text{ha}$ est donc simplement une moyenne tenant compte d'une meilleure gestion et de techniques plus efficaces.

Les 88 000 ha de forêt (hors bois d'œuvre et d'industrie) fourniront donc $704\,000 \text{ m}^3$ de bois par an, soit 440 000 tonnes de matière sèche. Une tonne de matière sèche (TMS) représente un contenu énergétique brut de 0,4 TEP. En tenant compte des pertes par transport, transformation, etc... de 0,2 TEP/ha.an, on peut estimer à 158 kTEP la production énergétique nette de la forêt alsacienne.



Les plantations énergétiques (90 000 hectares)

On obtient actuellement facilement 12 TMS par hectare et par an pour ce type de forêt. Nous retiendrons l'objectif de 15 TMS/ha.an pour l'Alsace, soit 6 TEP/ha.an. Moyennant une autoconsommation de 0,3 TEP/ha.an due à l'intensification de la production, les 90 000 ha de plantations énergétiques fournissent une production nette de 513 KTEP par an.

Les cultures énergétiques (50 000 hectares)

Ces cultures ont un rendement de 18 tonnes de matière sèche à l'hectare, ce qui représente 7,2 TEP/ha.an. L'autoconsommation représente 0,42 TEP/ha.an pour cette filière. On peut donc estimer à 339 kTEP la production annuelle nette d'énergie sur les 50 000 ha de cultures énergétiques.

Les déchets agricoles et forestiers

- La forêt non énergétique (210 000 ha) produit 0,8 TEP/ha.an en déchets de petits bois, rejets, souches, houppiers etc... Ceci représente un potentiel brut de 168 kTEP/ha.

- Le volume actuel des déchets d'élevage, tels que les lisiers, fumiers etc... nous a permis d'évaluer à 37 kTEP la récupération possible d'énergie sous forme de méthane obtenu par fermentation. L'augmentation prévue de la production de protéines animales laisse prévoir à long terme une production nette de 43 kTEP de combustibles gazeux.

- Les déchets humides végétaux (tiges, feuilles du maïs, feuilles et collets de betterave) fourniraient aujourd'hui 15,4 kTEP de gaz méthane, soit 18 à long terme.

- La valorisation énergétique des déchets agricoles non humides (pailles, sarments, rafles etc...) dégagerait aujourd'hui un potentiel brut de 81 kTEP. Nous considérons comme stable ce niveau de déchets pour le long terme.

La production de combustibles

Le premier bilan s'établit comme suit :

Biomasses	énergie (kTEP)	surface (ha)
Forêt hors bois d'œuvre et d'industrie	158	88 000
Plantations énergétiques	513	90 000
Cultures énergétiques	339	50 000
Déchets forestiers	168	-
Déchets secs agricoles	81	-
Total	1 259	
Déchets humides	61 (biométhane)	

Ce *potentiel brut d'énergie* est converti en combustibles solides (granulats, plaquettes, bûches) avec un rendement de 90 %, en combustibles liquides (méthanol, hydrocarbures etc...) avec un rendement de

70 % et en combustibles gazeux (méthane, $\text{CO} + \text{H}_2$) avec un rendement de 70 %. Ces combustibles sont produits essentiellement par des complexes agro-énergétiques décentralisés qui collectent la biomasse sur un rayon de 10 à 20 km.

Combustibles liquides

Les besoins à long terme en CL sont de 315 kTEP pour l'Alsace. Ils proviennent de la transformation thermochimique de 450 kTEP de biomasse avec un rendement de 70 %, produisant en annexe 7,5 % de chaleur BT que l'on récupère.

Combustibles gazeux

Rappelons la structure de la demande en CG par secteur :

résidentiel	65 kTEP
tertiaire	35 kTEP
transports	115 kTEP
agriculture	15 kTEP
industrie	200 kTEP

Les 61 kTEP de méthane de fermentation sont utilisés par le secteur agricole et résidentiel. Le solde de 19 kTEP est couvert par l'hydrogène électrolytique.

Les combustibles gazeux des autres secteurs sont couverts par production d'hydrogène à partir de l'électricité : pour la cuisine dans le secteur tertiaire ; les moteurs des véhicules de service et non particu-

liers et ceux des autobus ; les moteurs à combustion interne ou externe de F.M.F. (force motrice fixe) dans l'industrie.

Combustibles solides

On réserve d'office environ 20 kTEP de biomasse pour la fabrication de produits chimiques (plastiques, huiles etc...). Il reste alors 789 kTEP de biomasse sèche, représentant un potentiel de 710 kTEP de CS.

La demande de 485 kTEP en combustibles solides est couverte :

- par les 75 kTEP de granulats des ordures ménagères (voir ci-dessous) ;
- par 410 kTEP de CS venant de la transformation en granulats, bûches etc... de 456 kTEP de biomasse sèche (rendement 90 %).

Ordures ménagères

En supposant que la quantité moyenne de déchets par habitant et par jour est identique à long terme, soit 0,9 kg, les ordures ménagères représentent environ 591 000 tonnes par an.

Après triage des matières métalliques, du verre etc..., ces ordures sont transformées selon un procédé type Combor en granulats combustibles en chaudières collectives ou individuelles à pouvoir calorifique supérieur à 3000 kcal/kg.

La masse d'ordures initiale a un pouvoir calorifique d'environ 1500 kcal/kg, soit donc au total 88 kTEP qui fournissent environ 75 kTEP de granulats.

III - Le bilan

L'ensemble des résultats établis dans le chapitre précédent est regroupé dans les deux tableaux ci-dessous : le premier détaille les productions de combustibles, de chaleur et d'électricité pour chaque filière solaire en Alsace à long terme. Le second permet la comparaison de ces productions avec les besoins de l'Alsace à long terme.

Notre bilan s'avère donc excédentaire : l'Alsace peut se satisfaire à long terme en énergie par la simple utilisation de ses ressources naturelles renouvelables indéfiniment. Il montre également une grande surproduction d'électricité et un surplus de combustibles solides, mais un déficit en chaleur BT, MT, HT et en combustibles gazeux. Il est donc nécessaire d'étudier selon quels procédés sont couverts ces déficits et, dans un second temps, d'examiner le problème important de la régulation saisonnière.

Les transferts par reconversion

Les besoins en chaleur BT

Le déficit de 306 kTEP correspond à des appoints nécessaires de 235 kTEP dans l'habitat rural dispersé, de 55 kTEP dans le secteur tertiaire et de 50 kTEP dans l'industrie et l'agriculture, que l'apport de

34 kTEP de chaleur récupérée sur la transformation des combustibles solides en combustibles liquides ne comble que partiellement.

L'appoint de 235 kTEP nécessaire à l'habitat rural peut être satisfait par l'excédent en combustibles solides : 261 kTEP de CS sont ainsi consommés, laissant 39 kTEP d'excédents (environ 156 000 m³ de bois) disponibles à l'exportation. Les appoints de 71 kTEP des autres secteurs sont réalisés par des chaudières à hydrogène d'origine électrolytique, consommant 101 kTEP d'électricité (30 kTEP de pertes).

Les besoins en chaleur MT et HT

Ces besoins de 270 kTEP (200 MT + 70 HT) ne concernent que le secteur industriel pour les chaudières à vapeur, les hottes de séchage, les fours.

- Toute la chaleur HT, ainsi que 70 kTEP de chaleur MT, sont fournis par fours électriques (exemple : Rhénalu). Compte tenu de 7 % de pertes en lignes, ce sont 150 kTEP d'électricité qui sont consommées pour produire 140 kTEP de chaleur.

- Le reste de la chaleur MT (130 kTEP) est produite par combustion d'hydrogène électrolytique, consommant 185 kTEP d'électricité.

Les besoins en combustibles gazeux

Le déficit de 369 kTEP de CG correspond à des besoins de cuisine et de force motrice fixe industrielle (moteurs à combustion interne).

FILIERES	CHALEUR			COMBUSTIBLES			ELECTRICITE E	TOTAL
	BT	MT	HT	CS	CL	CG		
CHAUFFAGE SOLAIRE	1560	-	-	-	-	-	-	1560
BIOMASSE	34	-	-	710	315	61	-	1120
RECUPERATION DECHETS	-	-	-	75	-	-	-	75
HYDRAULIQUE	-	-	-	-	-	-	2230	2230
EOLIENNE	-	-	-	-	-	-	350	350
TOTAL	1594	-	-	785	315	61	2580	5335

Tableau : production d'énergies renouvelables en Alsace

	CHALEUR			COMBUSTIBLES			ELECTRICITE E	TOTAL
	BT	MT	HT	CS	CL	CG		
PRODUCTION	1594	-	-	785	315	61	2580	5335
BESOINS	1900	200	70	485	315	430	1325	4725
SOLDE (excédent +) (déficit -)	-306	-200	-70	+300	0	-369	+1255	+610

Ils sont tous couverts par l'hydrogène électrolytique produit par 527 kTEP d'électricité.

Nous résumons ci-dessous l'ensemble des productions, consommations et transferts que nous établissons pour le long terme. Il forme une unité dont nous allons discuter la cohérence.

	BT	MT	HT	CS	CL	CG	E	PERTES	TOTAL
PRODUCTION	1594	-	-	785	315	61	2580	-	5335
CONSUMMATION	1900	200	70	485	315	430	1325	-	4725
SOLDE	-306	-200	-70	+300	0	-369	+1255	-	+610
TRANSFERT PAR CONVERSIONS	+235	← combustion		-261					(26)
	+71	← hydrogène Hz					-101		(30)
		+70	← chauffage électrique				-75		(5)
			+70 ← chauff. électr.				-75		(5)
		+130	← hydrogène Hz				-185		(55)
						+369 Hz	← -527		(158)
TOTAL	0	0	0	+39	0	0	+292	(279)	+331

Tableau : répartition finale des énergies distribuées à long terme en Alsace

Malgré les pertes par transfert, les énergies renouvelables exploitées avec les techniques actuelles connues et fiables sur tout le territoire alsacien garantissent à notre région la satisfaction de toute sa consommation d'énergie dans tous les secteurs et pour toutes les formes d'énergies utilisées. Il ne s'agit pas là d'un miracle ou d'une démonstration tirée par les cheveux, d'un bilan forcé pour démontrer que le tout-solaire est possible. Il suffit de se rappeler que toute notre énergie nous vient du soleil et que ne

prendre que 0,6 % de son rayonnement nous suffirait pour assurer tous nos besoins énergétiques.

Il est bien évident que la répartition proposée est *une* des répartitions *possibles* : les énergies disponibles et leur stockage permettent une assez grande souplesse dans le choix des vecteurs (énergies distribuées). Ainsi, si l'on veut à long terme davantage valoriser le bois comme matière première (bois d'œuvre, pâte à papier, source de produits chimiques) plutôt que comme énergie, la couverture des besoins de chauffage d'appoint de l'habitat rural pourra être davantage assurée par chauffage éolien à convertisseur thermique et stockage ou par pompe à chaleur eau/eau ou pompe à chaleur eau/air, ce qui absorberait une partie de l'excédent électrique.

La régulation et le stockage intersaisonnier

Le soleil est plus incliné sur l'horizon l'hiver que l'été, il chauffe moins ; le Rhin offre ses débits les plus grands en été ; le vent souffle davantage en hiver et au printemps. La biomasse, elle, est stockée toute l'année par la nature.

Essayons alors de voir quelles quantités d'énergie sont disponibles selon les saisons et quelles sont les consommations à couvrir parallèlement (tab. p.150).

On constate ici clairement que la demande en électricité directe peut être largement satisfaite à toutes les saisons, mais que la période hivernale ne

présente qu'une faible marge, compte tenu des irrégularités des débits du Rhin.

L'électricité étant surabondante, l'électrolyse de l'eau permet la régulation saisonnière : en été, les usines d'électrolyse produisent de l'hydrogène, stockable et transportable sans problèmes. Cet hydrogène alimente toute l'année les cuisines, les moteurs thermiques des transports et de l'industrie, les chau-

	Hiver kTEP %	Printemps kTEP %	été kTEP %	Automne kTEP %	Total
Chaleur BT solaire	218 14	484 31	515 33	343 22	1560
Electricité éolien	102 29	102 29	76 22	70 20	350
Electricité Rhin	396 18	550 25	748 34	506 23	2200
Total énergies	670 16	1136 28	1416	888 22	4110
Total électricité	498 20	652 26	824 32	576 22	2550
Consom- mation d'électri- cité	345 26	331 25	291 22	358 27	1325

dières du tertiaire et de l'industrie ; il permet la régulation quotidienne de production électrique grâce aux piles à combustibles (65 % de rendement) qui génèrent de l'électricité à partir de l'hydrogène et de l'oxygène.

La chaleur BT d'origine solaire directe est stockée en nappe souterraine durant l'été et restituée durant l'hiver avec des rendements supérieurs à 70 %.

Les possibilités techniques de demain

Le Projet Alter est un projet raisonnable. N'ont été retenues que les techniques actuelles éprouvées alors que le solaire n'en est qu'à ses débuts. Si autant d'argent et de capitaux y avaient été investis que dans le pétrole et le nucléaire, bien des progrès, découvertes et améliorations auraient été apportés aux techniques solaires.

C'est de ces ouvertures, de ces extensions possibles dans l'avenir que nous voulons discuter, à la lumière des recherches actuelles.

Les photopiles

Elles convertissent directement le rayonnement solaire en électricité avec un rendement de 12 à 15 % environ. Ce rendement faible interdit leur utilisation massive pour la production électrique. En revanche, les recherches actuelles sur d'autres matériaux que le silicium cristallin (silicium amorphe, arséniure de gallium, sulfures combinés de métaux de transition) laissent espérer une grande diminution du coût de fabrication et une augmentation importante de rendement, qui permettraient l'extension rapide à l'habitat isolé et au tertiaire d'installations à photopiles.

La photolyse directe de l'eau

Actuellement encore en recherche, un tel processus qui permettrait la décomposition directe de l'eau en hydrogène et oxygène sans passer par le vecteur électricité, offrant par là-même des rendements plus importants que l'électrolyse, supplanterait alors totalement celle-ci.

Techniques du futur à Strasbourg

La photolyse est plus rentable que l'électrolyse :

Par électrolyse l'eau est décomposée en oxygène et en hydrogène, excellent combustible. Cette opération n'est pas rentable : il faut plus d'énergie électrique que l'hydrogène, gaz combustible, ne pourra en produire.

Par photolyse, l'eau peut être décomposée en hydrogène sous l'action du soleil grâce à des molécules ressemblant à la chlorophylle qui dans les plantes sert à la photosynthèse.

Des travaux de ce type sont poursuivis à Strasbourg par l'équipe du Pr. LEHN, médaille d'or du CNRS et de l'Académie pontificale des Sciences.

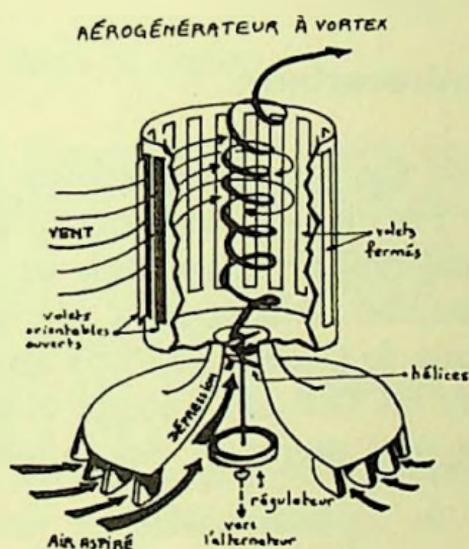
La photolyse directe conjointe du gaz carbonique et de l'eau

Elle fournirait des combustibles CS, CG, CL

hydrocarbonés, avec un rendement nettement supérieur à la photosynthèse.

L'aérogénérateur à vortex (éoliennes à dépression)

Il réunit l'hélice classique et un générateur à vortex, c'est-à-dire à tourbillon dépressionnaire. C'est une tour verticale conique, pincée en son centre, où est implantée horizontalement l'hélice. L'air s'engouffre par dessous et est mis en rotation rapide par le vent pénétrant par les volets latéraux. Ceci crée vers le centre de la tour une dépression analogue à une tornade.



L'énergie ainsi captée est 100 à 1000 fois plus importante que celle que la même hélice fournirait dans le vent. La rotation très rapide de l'hélice permet de s'affranchir des multiplicateurs. Les

projets en cours montrent une grande faisabilité, un coût très réduit du kw installé et la possibilité de construire sans problèmes de grosses unités de 1 000 Mw. Autre aspect intéressant : le vortex est stable dans le temps même pour des vents très faibles.

La centrale aérogéothermique

Fondée sur l'exploitation d'un cycle thermodynamique fonctionnant entre la source froide (air ambiant) et la source chaude (eau géothermale refroidie, par exemple, ou rejets industriels), son rendement est peu sensible à la vitesse du vent et d'autant plus élevé qu'il fait plus froid.

L'algue à hydrocarbure

Il existe une algue particulièrement intéressante, *Botryococcus braunii*, qui contient 15 à 75 % d'hydrocarbures par rapport à son poids sec. L'extrapolation des recherches actuellement entreprises par le CNRS et l'Ecole de Chimie de Paris aboutirait à des rendements de 60 TEP par hectare et par an, c'est-à-dire 10 fois plus que ceux des cultures énergétiques.

Pour clore (provisoirement) ce panorama des techniques du futur on peut noter que le secteur des transports peut bénéficier dans un proche avenir de progrès substantiels. L'hypothèse choisie dans notre évaluation de la consommation des véhicules indivi-

duels (61/100 km) est probablement trop pessimiste : l'introduction de l'électronique et de l'informatique, de moteurs haute température (céramiques) ou à combustion externe (du type Stirling) sous le capot des voitures et l'amélioration des récupérations d'énergie (freinage, pentes descendantes, pertes thermiques) sont autant d'indices qui permettent d'espérer des consommations beaucoup plus faibles dans un siècle. On peut également penser que les progrès des techniques du froid alliés à la supraconductivité abaisseront les pertes de distribution électrique et ouvriront peut-être le champ des transports collectifs à lévitation magnétique.

Le solaire dans la région

Habitat : Concepteurs en quête de soleil (Solaire 1 magazine n° 5) ; architectes : E. Lenys, B. Mosser, P. Valant, P. Boehm, D. Molard.

Mars de raisin à Vieux-Brisach : séchés, ils servent de combustibles.

Micro-centrales dans la Vallée de Lapoutroie (l'Alsace 17.3 1981).

EMC à Aspach-le-Bas (68) poursuit ses recherches sur la méthanisation, en particulier des lisiers de porcs, de bovins et de fientes de volaille.

Granulés de bois : Alsa-Méca construit à Gresswiller (67) une usine de broyage et séchage du bois.

CHAPITRE IV

une fenêtre ouverte sur demain

I - Un autre paysage

Un rapprochement

Les maisons des villages qui s'abritent du vent derrière des rangées d'arbres et qui aménagent dans leurs jardins des capteurs solaires à eau, habitent leur façade sud d'une grande serre ; les campagnes qui s'animent de petites éoliennes et se dépouillent des pylônes et des fils rendus inutiles par la multiplicité des réseaux locaux à basse tension installés sous terre ; des villages qui s'alimentent en électricité grâce aux rivières qui les traversent ; des agriculteurs qui se chauffent avec les déchets de leurs

champs ; des coopératives viticoles devenues autonomes grâce à l'énergie des marcs de raisin ; des villages qui se regroupent pour gérer leur forêt et en recueillir les déchets ; des villes qui stockent la chaleur du soleil recueillie l'été sur des champs de capteurs dans de grands réservoirs souterrains pour se chauffer l'hiver, une Alsace qui vit de l'énergie du Rhin, de ses rivières, de son vent, de ses champs, de ses forêts, de son soleil... c'est un nouveau paysage qui se dessine, un cadre de vie où les individus, les communes puisent toute leur énergie de la nature qui les environne.

Un autre rapport avec la nature s'établit : elle n'est plus un décor de week-end pour citadin ; elle donne chaque jour son lot d'énergie électrique, elle accumule semaine après semaine son flot de chaleur, elle construit chaque année son stock de combustible vert.

Les utilisateurs d'énergie sont individuellement ou collectivement les producteurs de leur énergie : chacun recueille son soleil, chaque entité villageoise ses déchets agricoles et forestiers ; chaque communauté urbaine construit son réseau de chaleur solaire ; chaque canton implante ses éoliennes et gère son complexe agro-énergétique.

L'énergie n'est plus cette électricité et ce pétrole venu d'on ne sait où ; elle est ce bien précieux que nous offre constamment le soleil. Elle n'est plus anonyme et, à ce titre, *elle nous est proche* ; nous sommes responsables d'elle ; nous savons que nous ne devons pas la gaspiller, car c'est nous qui la produisons et la gérons.

La gestion de l'espace

On ne fait pas n'importe quoi dans la nature. De la surface perdue, c'est de l'énergie en moins. On ne déboise plus impunément, on ne construit pas autoroute sur autoroute ; on ne laisse pas de terres abandonnées, de vastes zones industrielles inoccupées, de grands terrains vagues dans les villes ; on n'immobilise pas des surfaces pour étendre davantage quartiers résidentiels, supermarchés redondants, échangeurs superflus et dévoreurs d'hectares.

La gestion de l'espace devient l'affaire de tous ; dans les campagnes, agriculteurs, éleveurs, forestiers, communes s'associent pour mettre sur pied la récupération systématique des déchets, des produits de plantations et cultures énergétiques, des ordures ménagères, et distribuer les combustibles solides, liquides, gazeux qu'ils en tirent ; à l'échelle du canton également, les communes d'une vallée décident ensemble l'aménagement hydraulique de leur rivière pour produire leur courant, la surface à y consacrer, les lieux où implanter leurs microcentrales et leurs éoliennes.

Dans les villes, chaque mètre carré peut être alloué soit à l'habitat, soit à la circulation, soit au commerce, soit aux aires de repos ou de jeu, soit encore à une activité industrielle ou artisanale, ou bien alors réservé à la production de chaleur solaire par capteurs. Une ville doit alors prévoir la surface qu'il lui faut pour chauffer ses habitants dans la structure même de son plan d'occupation des sols.

C'est donc à une nouvelle répartition des responsabilités que conduit cette nouvelle gestion de l'espace. Elle appelle un changement fondamental des habitudes, des structures de décision et des données économiques, qui doit s'inscrire peu à peu dans les faits.

II - Les transitions vers demain

Comment passer à la société solaire ?

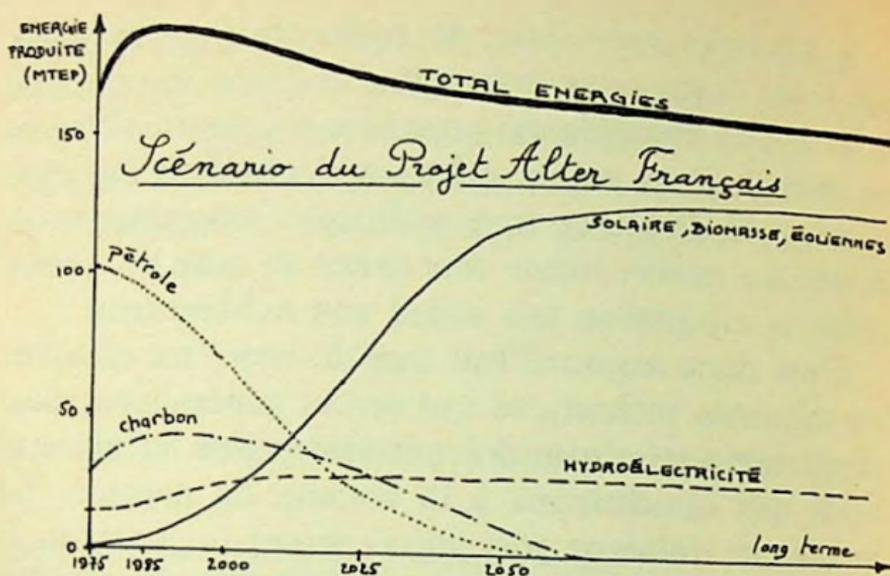
A l'évidence, les hypothèses que nous avons formulées au fil des pages sur les structures de la consommation d'énergie à long terme donnent un visage à la société de demain : une décentralisation à tous les échelons dans les mécanismes de décision, un pouvoir régional très étendu, une responsabilité individuelle et collective accrue et nécessaire. D'autres hypothèses de notre Projet Alter illustrent les grandes mutations qui se feront jour dans un régime économiquement et démographiquement stable : une rationalisation des consommations et des usages de l'énergie ; une minimisation des échanges et des transports de matière et de vecteurs d'énergie ; une optimisation de la production ; un appareil industriel orienté davantage vers la production des biens de consommation ; un tissu de petites industries locales plus dense ; une industrialisation du stockage énergétique.

A l'échelle mondiale, la redistribution complète des rôles entre pays industriels et Tiers-Monde, que nous avons évoquée en première partie, va s'opérer en moins d'un siècle. Mais à l'échelle d'un pays comme la France, une politique énergétique se décide au moins trente ans avant sa mise en œuvre réelle et cinquante ans avant son achèvement.

C'est donc aujourd'hui que doivent être essayées les solutions techniques qui seront généralisées dans cinquante ans et que doivent être prises les orientations qui conduiront à la société de demain. *La précieuse richesse que représentent le charbon, le pétrole et le gaz, est un capital d'énergie qui doit être économisé et investi dès maintenant dans la recherche, l'expérimentation et la mise en place progressive des énergies renouvelables.*

Pour assurer la transition en France, l'appel au charbon et au gaz naturel est fortement accru : la carbochimie concurrence progressivement la pétrochimie ; la technique peu polluante de combustion sur lit fluidisé permet le remplacement des centrales à fuel et des centrales nucléaires par des centrales à charbon ; la productibilité hydroélectrique est portée de 64 milliards de kwh en 1980 à 75 milliards avant l'an 2 000 ; les usines marémotrices des Iles Chausey en Bretagne sont construites. La consommation d'électricité est stabilisée (ce qui est d'ores et déjà une réalité). La géothermie est développée au maximum vers l'an 2 000 puis relayée par le solaire thermique.

Dans les lignes qui suivent, nous décrivons le redéploiement socio-économique nécessaire à l'émergence de la société du solaire et nous exami-



nous les obstacles dont il doit s'affranchir, mais aussi les atouts qui le rendent réaliste et faisable.

Une nouvelle politique économique

Les orientations que nous avons présentées demandent un investissement financier, scientifique et humain à la mesure de celui qui a présidé à la politique nucléaire, mais d'une toute autre ambition : il s'agit d'assurer la couverture des besoins énergétiques français par les énergies renouvelables. Avant d'étudier l'impact qu'aurait un tel investissement en Alsace, il importe de saisir toute sa dimension.

Les investissements

On peut les caractériser par leur *montant*, leur *durée*, leur *temps de retour*, c'est-à-dire le temps au bout duquel ils ont été rentabilisés. Lorsqu'une industrie investit dans de nouveaux procédés, de nouvelles machines, elle compte sur un temps de retour de l'ordre de deux à cinq ans : ce sont des investissements de forte rentabilité, de courte durée et de faible montant.

A l'échelle d'un pays, la mise en œuvre d'une politique relève au contraire d'investissements lourds, de longue durée et de faible rentabilité, qu'en général l'Etat seul est capable d'assurer, même s'il requiert la mobilisation de nombreuses industries publiques ou privées, car les risques financiers sont élevés. Ainsi, le programme nucléaire a-t-il immobilisé d'immenses capitaux avec un temps de retour très long (15 ans minimum selon les branches), voire infini si tous les coûts sont pris en compte.

Pour illustrer ce propos, il est intéressant de noter qu'il faudrait investir environ 45 milliards de francs par an de 1980 à 1990 pour la construction de centrales nucléaires qui produiraient 73 MTEP d'électricité en 1990, alors qu'il faudrait environ 24 milliards de francs d'investissements annuels pour économiser 40 MTEP en 1990 (par isolation, recyclage, régulation), c'est-à-dire à peu près la même dépense par TEP¹. Or, il faut penser que les coûts

¹ D'après le rapport Crémieux et l'évaluation de l'Areue en 1981.

d'entretien et de fonctionnement d'une centrale nucléaire viennent ensuite se rajouter, alors que ceux d'un système économiseur d'énergie sont presque

Journée continue = 2 000 emplois créés,
3 200 TEP économisées

Considérons que 50 000 personnes ne rentrent plus chez elles à midi pour déjeuner. Il faudra servir quelque 100 000 repas supplémentaires en cantines scolaires ou en restaurants d'entreprises, nécessitant l'embauche de 2 000 personnes au moins sur la base modeste d'un emploi pour 50 repas.

En admettant que chaque personne effectue un trajet moyen de 8 km aller-retour par jour, l'économie d'essence est d'environ 3 200 TEP par an (consommation moyenne de 4 litres aux cent par personne ; 230 jours travaillés ; 1 TEP = 1 150 litres d'essence).

inexistants ; ceci permet de rentabiliser l'investissement dans l'économie d'énergie au bout d'environ 8 à 9 ans pour les ménages ou l'Etat, et à 5 ans maximum pour une entreprise.

L'économie solaire

La mise en œuvre des énergies du soleil demande dans les conditions économiques actuelles des

investissements qui sont généralement lourds, de faible durée, de temps de retour variant entre 5 et 15 ans pour les procédés existants aujourd'hui. Globalement, on estime que le développement rapide des énergies renouvelables économiserait un milliard de francs en devises par MTEP d'énergie renouvelable produite. Le montant d'investissement ainsi que le temps de retour sont très différents selon les techniques envisagées, les lieux d'implantation etc... mais on peut dégager certains taux moyens par quelques exemples :

- L'enquête de la Chambre régionale de l'Energie de Colmar sur les 450 installations solaires fonctionnant en Alsace en 1982 montre un temps de retour d'environ 6,5 ans pour l'investissement dans un chauffe-eau solaire et 8 ans dans un chauffage solaire.

- A Limours, dans l'Essonne, l'installation d'un chauffage solaire pour le chauffage des bains photographiques d'un laboratoire est revenu à 2 400 F/kw installé (le coût du kw nucléaire installé est de 5 206 F en 1981 pour une centrale à construire avant 1990 ²) avec amortissement en 5 ans.

- L'usine de fabrication de pectine de Redon (Ille-et-Vilaine) transforme les déchets de fruits en méthane dans un digesteur-épurateur rentabilisé en 15 ans.

- L'usine hydroélectrique d'Erstein sur l'Ill fournit un kwh à 0,12 F en 1980 et a été rentabilisée en 10 ans.

² source EDF, coûts de référence 1981.

- Le kw installé de la minicentrale hydroélectrique de Baratier (hautes Alpes) est revenu à environ 2 200 F, offrant une rentabilisation en moins de 5 ans.

- L'éolienne d'Ouessant revient à environ 10 000 F le kw installé et délivre un kwh à 0,30 F (d'après la société Aérowatt).

- Le coût actuel de l'électricité des photopiles est de 75 000 F le kw-crête ; il doit baisser jusqu'à 2 500 F d'ici 1990 selon les estimations américaines.

L'intérêt de l'économie solaire est son faible coût de fonctionnement et d'entretien comparé à tous les autres modes de production énergétique : il s'explique par le fait que ces techniques sont le plus souvent simples à faire fonctionner, à entretenir, à réparer et que la source d'énergie (soleil, vent, eau) est gratuite ou presque (biomasse collectée, déchets récupérés). Le coût du stockage est comparable à celui des produits pétroliers ou gaziers, et moins élevé que celui des hexafluorures d'uranium ou des déchets nucléaires.

Les coûts que nous avons indiqués sont indicatifs, mais non universels. Ils sont très sensibles :

- aux effets de taille : les très grandes éoliennes sont plus rentables que les petites ;

- aux conditions d'usage : la même éolienne rentable sur le massif vosgien ne l'est plus en plaine ;

- aux effets de série : produire en série des capteurs, des photopiles, des éoliennes en grand nombre abaisse leur coût ;

- aux investissements de recherche : si l'Etat investissait la même somme dans les énergies renouvelables qu'il a investie dans l'industrie pétrolière ou nucléaire, l'effet d'entraînement et la prise en charge par la collectivité de ces coûts de recherche libérerait réellement leur prix à la baisse.

C'est la raison pour laquelle *notre Projet Alter n'est pas une prospective différente en termes d'investissements, ni une simulation économique*. Personne ne peut dire quelles seront les conditions économiques de l'an 2 000 et après, ni le coût des énergies non renouvelables. Qui aurait pu prédire que l'accident

Coût du kw électrique installé

type de centrale	nucléaire	charbon	gaz (turbine)	hydro-électrique
Coût F/kw (1981)	5206	4386	2321	1200 à 2000

Source EDF

de Three-Miles-Island aux Etats-Unis arrêterait presque totalement le programme nucléaire américain ?

Initiatives locales

L'économie solaire requiert de chacun un sens accru des responsabilités. Ce sont les collectivités locales (communes, cantons, départements et régions), les producteurs (agriculteurs, coopératives ouvrières, industriels, entreprises artisanales), les

services publics locaux (EDF-GDF, SNCF, crédit et banques) et les acteurs socio-politiques (consommateurs, scientifiques, syndicats, associations, partis) qui sont les décideurs : c'est parce qu'ils connaissent leur région, leur commune, leur outil de travail et qu'ils sont au contact de leurs besoins qu'ils sont les plus à même de pouvoir gérer leur espace et leurs énergies.

Et c'est sur eux que doit reposer alors une réelle politique énergétique régionale, dont l'outil serait l'Agence régionale de l'Energie.

Pour une Agence Energie Alsace

Notre réflexion nous a menés à proposer, avec les associations alsaciennes de consommateurs, de protection de l'environnement et de promotion des énergies renouvelables, le projet d'une « Agence Energie Alsace ». Celle-ci doit être la cheville ouvrière de la politique de développement des énergies renouvelables en Alsace. Elle doit assurer la coordination des projets, expériences et réalisations, le suivi des études et l'élaboration d'une politique de recherche, de formation et d'information sur les énergies renouvelables et les économies d'énergie.

Les contours précis que nous en avons tracés (voir annexe) nous semblent les conditions nécessaires pour que chacun des acteurs socio-économiques de la région ait sa part de responsabilité dans la définition d'une politique énergétique régionale, dont nous pensons qu'elle doit voir le jour dès maintenant.

Cette politique régionale peut alors s'intégrer dans

une politique nationale dont elle est un élément et dont elle subit les contraintes. C'est là tout le rôle de l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie : stimuler, coordonner et prendre en compte l'ensemble des politiques régionales françaises.

Des plans de transition pour l'Alsace

Si une politique de développement des énergies renouvelables doit se mener à long terme, il est cependant urgent d'en donner les prémices. Ils peuvent revêtir la forme de « plans de transition » qui doivent permettre simultanément :

- le lancement des études générales sur tel type d'énergie renouvelable en Alsace et des mesures physiques et statistiques nécessaires ;
- la définition et la mise en œuvre de projets pilotes significatifs répondant à des besoins différents et utilisant des techniques variées ;
- l'étude économique de la mise en œuvre des énergies renouvelables (coûts d'investissement, prix de revient de l'énergie produite, économie réalisée, rentabilité, emplois créés ou induits) ;
- l'ouverture de contrats avec l'industrie, par lesquels la région s'engage à acheter un certain nombre d'exemplaires d'un produit donné, à un prix fixé, pour permettre la mise en route d'une série de fabrication.

Ces plans doivent pouvoir assurer la transition vers le régime à long terme que nous avons présenté.

Un plan géothermie

La géothermie, nous l'avons vu, n'est pas une énergie renouvelable à l'échelle d'une génération. Mais elle jouera un rôle essentiel pour la mise en place des réseaux de chaleur qui serviront à long terme à distribuer l'eau chaude solaire et à la stocker de l'été à l'hiver dans les nappes géothermales. Elle ne servira donc que de relais avant le plein développement du chauffage solaire collectif des agglomérations de plus de 5 000 habitants.

Les ressources alsaciennes

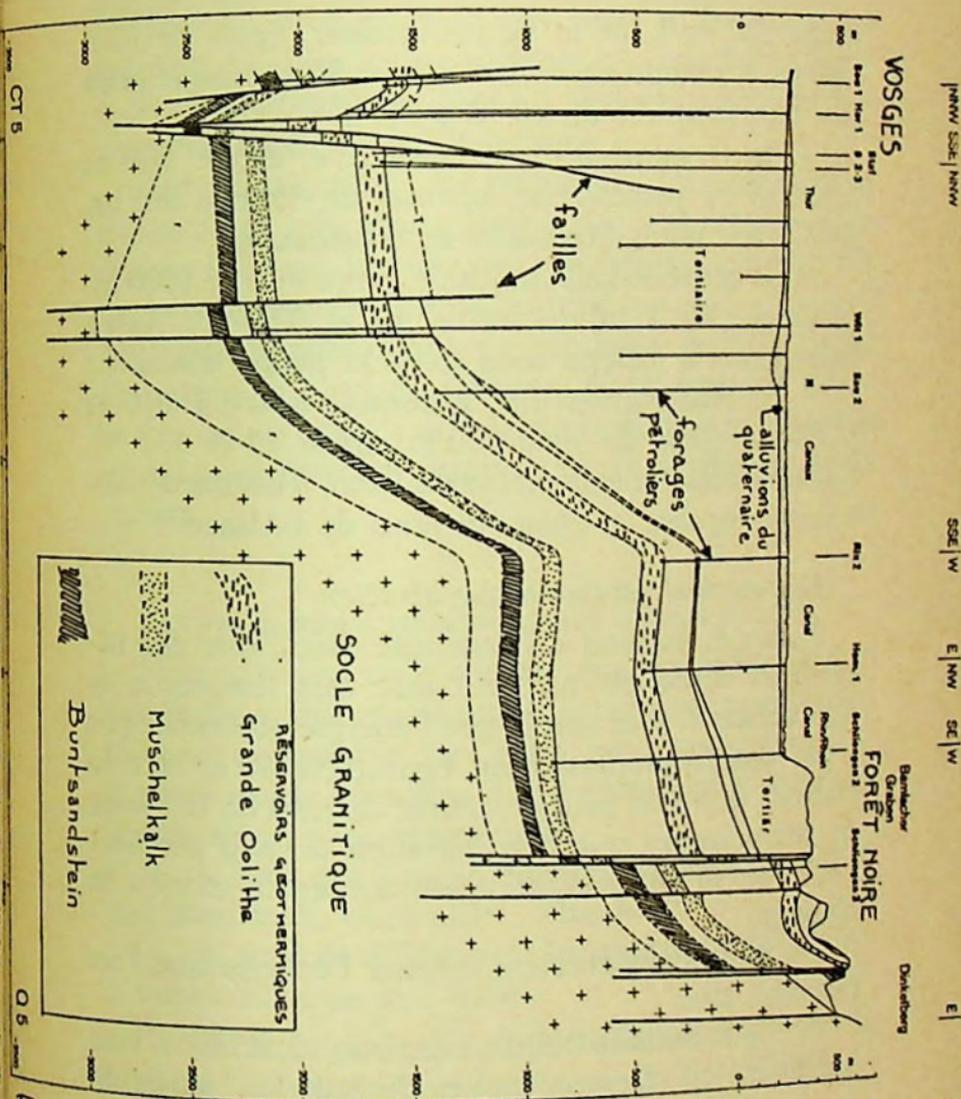
L'Alsace dispose dans son sous-sol des réservoirs les plus chauds et les plus prospectés de France. Les quelques cinq mille forages qui y ont été effectués en donnent une image assez précise.

L'effondrement, à l'ère tertiaire, du fossé rhénan a causé un failage tel, dans les couches sédimentaires superficielles de l'ère secondaire, permettant ainsi une meilleure circulation de la chaleur venant du magma et de la croûte terrestre, que la plaine du Rhin dispose des plus forts gradients géothermiques de France : la température augmente de 4 à 11 °C par 100 m de profondeur.

Aussi le sous-sol alsacien dispose-t-il de plusieurs réservoirs superposés d'eau chaude infiltrée dans des couches de roches poreuses, limités chacun par une

COUPE TRANSVERSALE DE LA PLAINE D'ALSACE

entre le bassin potassique et le Rhin et Hombourg



Remarquez la disposition des réservoirs d'eau géothermale, ainsi que les grandes failles (seules les plus importantes figurent).

couche inférieure et une couche supérieure imperméables.

En forant dans le sous-sol, on rencontre successivement :

- le Rauracien, réservoir géothermique calcaire, entre 100 et 1 200 m de profondeur, épais de 10 à 100 m. Il s'étend entre St-Louis et Mulhouse et offre des températures de 20 °C à 80 °C ;

- la Grande Oolithe, calcaire, entre 300 et 2 500 m de profondeur, épaisse de 45 m à 200 m. Elle existe entre Mulhouse et Strasbourg ;

- le Muschelkalk, calcaire, entre 800 et 3000 m, épais de 60 à 90 m, entre 40 et 150 °C. Assez homogène, il s'étend sous toute la plaine d'Alsace ;

- le Buntsandstein, gréseux, entre 1 000 et 3 300 m, épais de 50 à 500 m, entre 50 et 170 °C. Existant sous toute la plaine du Rhin, il est particulièrement régulier et épais au nord de l'Alsace.

Le potentiel géothermique alsacien

Toute évaluation du potentiel thermique des réservoirs alsaciens ne peut être que théorique et approchée. Il faut savoir que l'énergie géothermique n'est pas immédiatement renouvelable et que la chaleur que l'on peut en retirer dépend de la baisse de température que l'on fait subir à l'eau géothermale en la réinjectant après en avoir extrait la chaleur.

On peut grossièrement estimer l'énergie que l'on pourrait tirer :

- de la Grande Oolithe : environ 90 MTEP si l'on considère un réservoir moyen de 2600 km², épais de

75 m, de 12 % de porosité, refroidi de 85 à 45 °C ;
- du Buntsandstein : environ 1 300 MTEP (5100 km², 250 m d'épaisseur, 15 % de porosité, refroidi de 120 à 50 °C).

Mais la géothermie, c'est-à-dire l'exploitation de la chaleur du sous-sol, doit être mise en œuvre là où existent des besoins importants en chauffage, c'est-à-dire à proximité ou dans les agglomérations urbaines d'au moins 5 000 habitants.

Dans l'évaluation des ressources immédiatement exploitables que nous faisons par la suite, nous ne tenons donc pas compte des possibilités intéressantes de la géothermie à haute température (150 °C environ) qui permettraient de produire de l'électricité dans tout le nord de l'Alsace. Nous pensons néanmoins qu'un plan de développement de la géothermie alsacienne devrait comporter un projet de cette nature.

Les réalisations géothermiques à entreprendre

Nous n'avons tenu compte que des villes offrant une taille suffisante et un potentiel connu raisonnablement exploitable. De ce fait, nous avons provisoirement exclu les villes qui demandent une étude géophysique plus approfondie :

- le long des Vosges (Saverne, Molsheim, Obernai, Rouffach, Guebwiller, Thann...);
- la zone de Sélestat où les couches géologiques s'enfoncent sous une faille ;
- la zone incertaine de Neuf-Brisach, compartimentée, non soudée et faillée par le Kayserstuhl.

Les projets possibles dans l'immédiat sont rassemblés dans le tableau ci-dessous, avec leurs caractéristiques possibles (débit total des forages, baisse de température, puissance) telles que nous les avons évaluées. Ils sont de l'ordre d'une cinquantaine, qui

réservoir géothermique	ville	débit total m^3/h	différence de température du doublet	puissance thermique Mw
Trias (Bunt-sandstein et muschelkalk)	Wissenbourg	500	70	40,7
	Soultz s/ Forêt	100	100	11,6
	Haguenau	200	60	14
	Soufflenheim	100	100	11,6
	Bischwiller	100	100	11,6
	Brumath	100	80	9,3
	Strasbourg	800	100	93
	Erstein	100	70	8,1
	Marckolsheim	100	70	8,1
	Colmar	300	50	17,4
Grande Oolithe	Cernay	100	80	9,3
	Mulhouse	400	80	37,2
	Strasbourg	500	60	34,8
	Erstein	100	30	3,5
	Marckolsheim	100	50	5,8
	Colmar	300	25	8,7
Rauracien	Mulhouse	400	60	27,9
	Cernay	100	50	5,8
	Mulhouse	200	40	9,3
	St-Louis	100	15	1,7
	Strasbourg	100	40	4,6

a v e c
P.A.C.

Plan géothermie, Projet Alter Alsace.

peuvent faire l'objet d'une mise en œuvre progressive au vu des résultats en une quinzaine d'années.

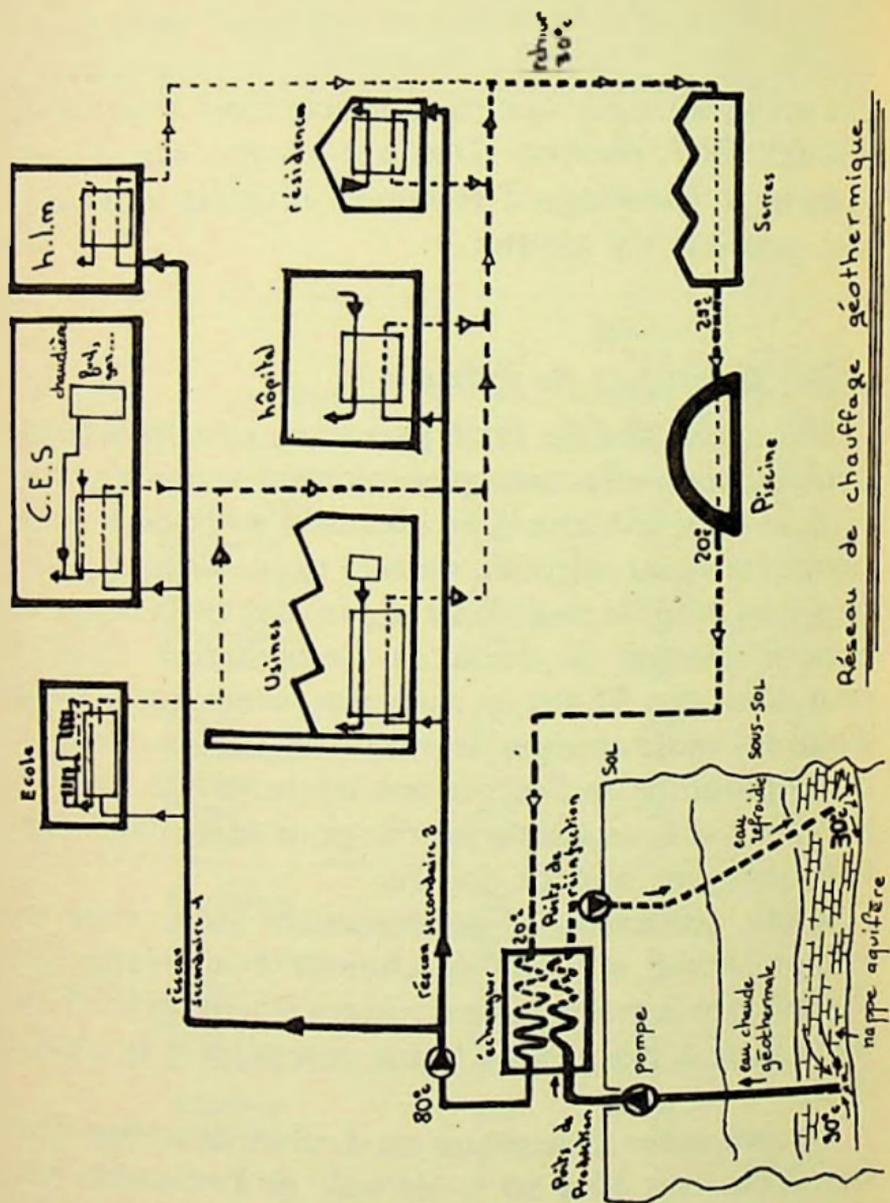
On notera que la puissance thermique totale est de l'ordre de 375 Mw. La réalisation de l'ensemble de ces opérations permettrait une économie annuelle de 150 000 TEP environ. D'autres projets spécifiques, comme le chauffage d'aéroports, d'usines importantes, peuvent s'y ajouter.

Les techniques de production

Deux forages de type pétrolier, constituant un doublet, sont effectués généralement sur place, l'un vertical pour extraire l'eau chaude, l'autre dévié pour réinjecter l'eau refroidie dans la nappe environ 1 km plus loin, afin de maintenir la pression de la nappe et donc d'allonger la durée de l'exploitation. Celle-ci peut atteindre 30 ans en moyenne, avant que le front d'eau refroidie atteigne le puits d'extraction. Ensuite, la température de l'eau baisse lentement de 1 à 2 °C tous les 5 ans, ce qui permet de poursuivre l'exploitation quelques années encore.

L'eau géothermale, généralement salée, reste en *circuit fermé*, et cède sa chaleur à un réseau de chaleur qui la transporte à travers la ville, grâce à un échangeur à plaques de titane insensible à la corrosion.

La *puissance* thermique du doublet de forage doit être d'environ 40 à 50 % de celle de l'ensemble des chaudières des bâtiments chauffés, ce qui permet à la géothermie de couvrir 60 à 80 % des *besoins d'énergie* sur l'année. En effet, le chauffage géothermique



Réseau de chauffage géothermique

couvre tous les besoins tant que la température extérieure reste au-dessus d'un seuil (8 °C environ), puis les chaudières d'appoint apportent le complément lorsque la température descend sous le seuil.

La géothermie et l'emploi

L'Agence Energie Alsace devrait impulser un tel plan de démarrage de la géothermie, après une étude plus approfondie du potentiel alsacien.

Pour cela, il est nécessaire que la région se dote des moyens de forage en concertation avec l'Etat, avec les MDPA³ comme appui industriel. Les emplois créés sont loin d'être négligeables : une trentaine par doublet pendant 4 mois ; les bureaux d'études ; la fabrication et l'installation de réseaux d'eau chaude ; la gestion et l'entretien de ces réseaux.

Un plan biomasse

L'utilisation de la biomasse comme source d'énergie est un domaine très sensible demandant beaucoup de précautions, car il touche directement à la nature. Celle-ci ne donnera toute son énergie que par exploitation rationnelle, dans le respect de ses équilibres.

Le plan que nous proposons répond à trois critères essentiels :

- adaptation aux objectifs (production de chaleur et de combustibles) et à la spécificité de la biomasse (énergie très dispersée et stockée) ;

³ Mines Domaniales des Potasses d'Alsace

- mise en place progressive pour permettre à l'expérimentation de jouer tout son rôle ;
- progression dans le niveau technologique et le niveau d'organisation (individuel, coopératif, industriel).

Il doit intervenir dans les trois domaines suivants :

- la production de la biomasse et la collecte des sous-produits ;
- le marché (contrat d'approvisionnement, système de prix garantis, distribution des énergies produites) ;
- la transformation énergétique de la biomasse.

Il peut se dérouler en deux étapes :

Dans un premier temps : il convient de récupérer les déchets (sous-produits) d'exploitation agricole et forestière : ils sont nombreux et variés ; leur récolte est différente selon qu'il s'agit de déchets d'animaux d'élevage, de rafles de maïs, de paille, de sarments de vigne, de marcs de raisin ou de petits branchages délaissés par l'exploitation forestière. Ils appellent des techniques différentes de valorisation : celles-ci doivent toutes être étudiées, expérimentées et étendues afin de couvrir l'ensemble des possibilités de récupération en développant prioritairement les techniques simples à portée d'un agriculteur, d'une coopérative ou d'une commune :

- la méthanisation : elle doit permettre la valorisation sur place des déchets animaux et des déchets agricoles humides, mais aussi des déchets forestiers et agricoles secs, des déchets industriels organiques et des eaux usées ;

- la combustion après granulation : s'adresse aux déchets secs (bois, pailles, taillis etc...).

A ce stade, l'énergie produite à partir de la biomasse permettra la couverture progressive des besoins du secteur agricole et agroalimentaire en matière de combustibles et de chaleur basse température. Ceci pourra se faire entièrement dans le cadre de circuits courts de collecte de la biomasse et de distribution des combustibles (autoconsommation d'exploitation agricole, coopératives types C.U.M.A.⁴)

De nombreux projets pilotes doivent être mis en place rapidement dans ces différents secteurs.

L'EMC (MDPA) pourrait jouer un rôle moteur dans la mise sur pied d'un « plan méthaniseur », pour assurer la production en série de méthaniseurs et le suivi technique de ce matériel, en collaboration avec l'Agence Alsace Energie, l'AFME et l'INRA.

Dans un stade ultérieur, il conviendrait d'élargir le champ d'exploitation de la biomasse dans deux directions simultanées et complémentaires :

- mise au point et utilisation des techniques plus sophistiquées de gazéification, pyrolyse et transformations alcooliques, qui relèvent de l'industrie : la collecte de la biomasse peut se faire par contrat d'approvisionnement entre les agriculteurs (particulièrement les producteurs de biomasse à sucres), les forestiers et l'unité de transformation industrielle qui peut travailler sur une surface relativement grande (20 à 50 km de rayon dans les conditions économiques actuelles) ;

⁴ Coopérative d'utilisation de matériel agricole

- développement des cultures et plantations énergétiques : il s'agit d'expérimenter la culture de différentes espèces agricoles et forestières à haut rendement dans nos régions. L'INRA⁵ pourrait en assurer la couverture scientifique, particulièrement dans la recherche de l'amélioration des rendements et la sélection des espèces.

Une place particulièrement importante doit être dévolue dès aujourd'hui à la *recherche agronomique et forestière*, car elle conditionne la réussite d'un plan biomasse et l'avenir de la biomasse comme source d'énergie.

Il s'agit de progresser rapidement dans la mise en place d'une agriculture régionale moins dépendante pour ses approvisionnements énergétiques et plus efficiente dans son utilisation de l'énergie solaire, non plus seulement par rapport à la surface de terrain, au travail humain, mais encore par rapport aux apports d'énergie et d'engrais tirés encore aujourd'hui des ressources non renouvelables.

Cette recherche s'orienterait vers :

- l'affinement de l'analyse énergétique des productions régionales agricoles et forestières ;

- l'établissement de références régionales pour chaque système de culture, c'est-à-dire de normes permettant de savoir ce qui peut être valorisé en sous-produits agricoles sans porter atteinte aux taux de matière organique dans le sol et d'obtenir un

⁵ La Station d'Agronomie de Colmar de l'INRA a mené une réflexion dans ce sens, publiée dans un document en 1980 (*Eléments de réflexion sur l'économie de l'énergie et la production agricole*, Pierre Kammerer, Colmar).

« portrait-type » de plantes parfaitement adaptées aux conditions écologiques, culturelles, techniques, économiques et aux perspectives offertes par les techniques de valorisation, les projets de cultures énergétiques, etc...

– des alternatives techniques et culturelles : choix judicieux d'espèces et de variétés, associations de cultures, combinaisons de techniques.

On peut imaginer que ces recherches puissent être menées par des « cellules-relais » qui auraient un rôle d'investigation dans un domaine bien précis, particulier à chacune, et un rôle de démonstration-incitation :

– en amont : choix d'un système de production, d'une espèce et étude des bilans énergétiques et humiques ;

– en aval : traitement et transformations énergétiques des produits et sous-produits agricoles ; étude de marché.

Ces cellules-relais seraient ainsi la base pour la mise en place progressive des complexes agro-énergétiques du long terme.

Un plan petite hydroélectricité

Inventaire des ressources : il a été en grande partie réalisé à l'échelle de l'Alsace par une équipe de deux géographes alsaciens dans le cadre de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg⁶.

⁶ F. Dufour et M. Kleinmans : Atlas des Contraintes « Eaux et Nuisances » – ressources naturelles et aménagement de la région Alsace, 1979.

L'un des objectifs consistait à effectuer à l'échelle 1/50 000 des levés de terrains systématiques des caractéristiques des écoulements de surface et des conditions, en particulier géomorphologiques, de leur formation.

Cet inventaire mérite particulièrement d'être complété :

- par une étude systématique permettant la connaissance fine de l'écoulement dans les petits bassins versants équipés de stations de mesures hydro-climatologiques ;

- par le relevé des débits de l'ensemble des petits cours d'eau nécessitant l'installation et la généralisation de ces stations de mesure, qui compléteraient celles actuellement en fonctionnement.

Développement de la petite hydroélectricité : les avantages de cette ressource renouvelable ont été décrits précédemment. L'installation par une commune, une industrie, un syndicat intercommunal d'une microcentrale n'est pas seulement génératrice d'électricité et donc d'autonomie, mais également de ressources financières : elle peut donc constituer un petit pôle de développement économique local, comme le prouvent les expériences de nombreuses communes comme celle de La Bresse (Vosges).

L'hydroélectricité bénéficie déjà d'une longue histoire en Alsace. A ce titre, il est urgent qu'un inventaire précis des petites centrales en fonctionnement ou abandonnées soit réalisé par la région. On sait qu'un minimum d'environ 170 centrales ont existé, compte non tenu des installations fournissant

de l'énergie exclusivement mécanique ; on a pu compter 45 scieries, moulins et établissements industriels pour la vallée de Thann sur une distance de 23 km ! Dans celle de Guebwiller, sur 11 km, ce ne sont pas moins de 12 usines qui produisaient encore de l'électricité en 1961, avec une puissance totale de 1922 kw⁷.

Ensuite il conviendrait qu'un plan de remise en service et de modernisation d'anciennes installations hydroélectriques soit mis en œuvre par vallée, de concert avec les utilisateurs et maîtres d'ouvrage.

Parallèlement à ceci, un projet d'équipement en microcentrales des écluses situées sur la partie déclassée du canal du Rhône au Rhin entre l'île Napoléon (Mulhouse) et Neuf-Brisach permettrait d'approvisionner non seulement ces écluses, mais également une partie des fermes et des villages voisins, voire le réseau EDF. Enfin, il serait possible de réaliser l'équipement progressif et complet des cours d'eau alsaciens, en corrélation avec les possibilités d'utilisation locale, par aménagement de hautes chutes, de bassins de retenue en vue d'un stockage et d'une régularisation des crues (ce qui permettrait de faire face plus efficacement aux inondations comme celle du printemps 1983) dans le strict respect de l'environnement.

Un plan éolien

L'énergie éolienne est probablement la plus mal connue des énergies renouvelables d'Alsace. L'étude

⁷ La vallée de la Lauch en amont de Guebwiller. Etude des ressources et des besoins en eau (H. Adam, P. Demangelle, J. Dubus, 1961).

du régime des vents est trop parcellaire, puisqu'aujourd'hui ne sont effectuées que les mesures de vitesse et d'orientation des vents aux aéroports de Strasbourg, Mulhouse et Colmar par la Direction régionale de la Météorologie nationale.

Le plan de développement de l'énergie éolienne que nous proposons pour l'Alsace s'articule autour de deux axes :

L'inventaire de la ressource

Il doit se faire sur une période d'au moins 10 ans pour avoir une réelle valeur statistique. Il s'agit d'enregistrer en continu l'ensemble des mesures aboutissant à la connaissance précise du régime des vents (vitesse instantanée et direction) à des endroits caractéristiques, répartis sur l'ensemble de la région. Cette étude peut se faire à partir de stations automatiques mobiles ou fixes munies d'enregistreurs à cassettes. Elle pourrait être menée sous l'égide de l'Agence Alsace Energie associant, par exemple, l'Institut de Géographie de Strasbourg et la Direction régionale de la météorologie nationale.

Cet inventaire ne peut être complet que si le nombre des stations est suffisamment important. Il conviendrait que soient couvertes les zones suivantes :

- le Sundgau au sud de Mulhouse (zone de collines) ;
- le Sud-Ouest vers la trouée de Belfort ;
- les grands sommets vosgiens (Grand Ballon, Hohneck, Ballon d'Alsace etc...) ;

Comment rendre autonome une maison près de Mulhouse par chauffage éolien

- Pour utiliser au mieux une éolienne à des fins de chauffage d'une habitation et de son eau chaude sanitaire, il est plus intéressant de la coupler à un *convertisseur mécano-thermique à bain d'huile* relié à un *stockage d'eau chaude sous pression* à 130 °C, plutôt que de l'associer à un alternateur nécessitant de nombreuses batteries pour alimenter un chauffage électrique. En effet, le rendement du convertisseur étant de 100 %, l'éolienne n'a pas besoin d'être régulée comme un aérogénérateur, et on recueille à tout instant toute la puissance instantanée $P = 0,37.r.S.V_o^3$ (r est le rendement de l'éolienne, S la surface balayée par son hélice, V_o la vitesse instantanée du vent). On prend $r = 0,69$.

- Considérons une habitation moyenne : surface habitable 100 m² ; hauteur des pièces 2,5 m ; coefficient d'isolation G de 1 kcal/m³C.h. La *puissance moyenne de chauffe* au mois le plus froid de l'année est donnée par $P = V [G (19 - t_o) + 1,12]$, pour le chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire (t_o est la température moyenne extérieure du mois le plus froid ; à Mulhouse, t_o vaut 0,3°C, le mois le plus froid étant janvier). Le volume V de l'habitation étant de 250 m³, la puissance moyenne de chauffe est de 5703 w.

• Pour assurer l'autonomie en puissance moyenne de chauffe, il faut disposer d'une éolienne de 10,7 m de diamètre, sans régulation, démarrant à 3 m/s de vitesse de vent et supportant des vents de 20 m/s. Le calcul a été fait d'après les relevés de vent de janvier. L'énergie produite par cette éolienne sur l'année s'élève à 18 340 kwh, ce qui ne suffit pas à couvrir tous les besoins de 2,24 TEP/an, soit 25 980 kwh. Il est possible alors d'augmenter le diamètre de l'éolienne à 12,8 m, ce qui permet de disposer d'une surpuissance pour les années les moins ventées.

• Le chauffage devant être autonome durant tout janvier, il faut disposer d'un stockage suffisant pour une durée de 15 jours sans vent consécutifs. Le volume d'eau à 130 °C chauffant les radiateurs à 70 °C doit être d'environ 30 m³.

- l'entrée de certaines vallées vosgiennes telles que les vallées de Thann-Cernay, de Munster, de Schirmeck etc... ;

- les Vosges du Nord ;

- le plateau de l'Alsace bossue ;

- les collines du Kochersberg au nord-ouest de Strasbourg.

Les mesures ainsi relevées permettront d'obtenir l'ensemble des courbes de vitesse mensuelles, jour-

nalières, les courbes de fréquence et, par conséquent, l'évaluation réelle du potentiel énergétique.

La mise au point et l'exploitation des éoliennes

Le régime des vents étant variable selon les endroits, il nous semble important que soient étudiés des modèles d'éoliennes adaptés aux vents faibles de la plaine d'Alsace (démarrage sous un vent de moins de 3 m/s) ou aux vents importants des sommets vosgiens, dans le but de satisfaire des besoins particuliers :

- autonomie d'une habitation (ferme isolée, en plaine ou dans les Vosges) en chauffage et en électricité ;
- alimentation complète d'une installation isolée (relais hertzien, radio-téléphone) ;
- chauffage de l'eau pour l'alimentation et la traite de vaches ;
- oxygénation d'étangs de pêche ;
- pompage d'eau dans la nappe phréatique ;
- production électrique sur réseau autonome.

Ces essais et recherches doivent s'orienter prioritairement dans des directions techniquement possibles : éoliennes de petit diamètre (jusqu'à 15 m), éoliennes à axe horizontal et à axe vertical, éoliennes aérogénératrices, à bain d'huile ou de pompage. Un *centre d'essais régional* doit pouvoir être créé permettant l'étude en soufflerie et l'étude du couplage à un générateur électrique ou à un convertisseur thermique à bain d'huile. Ce centre associerait l'Université, le CNRS, l'EDF régionalisée, l'Agence Energie Alsace

et l'AFME. Il serait habilité à passer des contrats de recherches et de construction avec les fabricants d'éoliennes.

Dans une phase ultérieure, il doit être envisagé de développer les recherches vers les éoliennes de grande puissance (de 100 à 1 000 kw) au vu des expériences actuellement menées à l'étranger et de celles, déjà anciennes, d'EDF. La faiblesse relative des vents en plaine devrait orienter ces recherches vers les aérogénérateurs à vortex que nous avons évoqués au chapitre III. Ces études devraient se faire en contrat avec l'Etat.

III - Les obstacles

La politique ambitieuse de développement énergétique régional dont nous avons tracé les orientations réclame un investissement très important équivalent à celui qui a été consenti dans la recherche pétrolière ou la recherche nucléaire. Le changement des habitudes de consommation, des structures de décision qu'elle représente se heurtera à de sérieux obstacles que nous voulons maintenant examiner, dans le but d'en avoir une claire conscience.

Les obstacles techniques

Si de nombreuses techniques semblent largement éprouvées depuis des décennies (microcentrales, éoliennes de pompages, serres), d'autres ont vu une grande amélioration depuis quelques années (combustion de la biomasse, aérogénérateurs, gazéification, photopiles, capteurs solaires, habitat bioclimatique). Mais il reste encore beaucoup à faire pour obtenir une fiabilité totale pour certains procédés (éoliennes de puissance, fabrication d'alcools à partir de biomasse, liquéfaction de la biomasse sèche, photolyse de l'eau, cultures et plantations à haut rendement).

Le *problème du stockage* concerne presque toutes les énergies renouvelables, hormis la biomasse qui est de l'énergie solaire stockée. Si des solutions existent depuis longtemps pour l'hydroélectricité (retenues, pompages), le problème se pose pour le stockage de l'électricité et de la chaleur. Les solutions que nous avons évoquées dans ce livre sont réelles, bien qu'encore peu développées. Elles peuvent être sujettes à de grandes améliorations, particulièrement dans le rendement de l'électrolyse de l'eau (ou de la photolyse) et dans la technique de stockage souterrain de gaz (hydrogène) et de chaleur (héliogéothermie, sels fondus).

Il faudra dépasser le stade de prototype dans les 5 à 10 ans qui viennent pour que les bonnes orientations puissent être définitivement choisies.

Les obstacles structurels

Le marché des énergies renouvelables existe déjà et s'est développé dans notre région comme ailleurs. Mais il est freiné par le manque de structures commerciales et techniques :

- l'information-conseil des consommateurs est peu développée en comparaison de ce qui est fait pour le chauffage traditionnel (à fuel, gaz, charbon ou électrique) et la pompe à chaleur ;

- la formation des installateurs est le plus souvent inexistante ; le chauffage solaire demande une réelle spécialisation ;

- les producteurs et les installateurs sont peu nombreux ;

- la maintenance offre de ce fait de grandes lacunes, et l'on s'inquiète plus d'installer ou produire que de dépanner.

Les obstacles politiques

Jusqu'à une époque récente, les régions n'ont guère eu le pouvoir de mener une réelle politique autonome en matière d'énergie. La décentralisation n'étant pas encore entrée dans les faits, ni dans les mœurs, les blocages politiques hérités de la tutelle parisienne subsistent ; l'Administration reste encore particulièrement centralisée. Electricité de France impose une politique nationale dans laquelle la

concertation régionale n'a pas encore pu occuper la place qui lui revient.

Les communes n'avaient jusqu'à récemment que peu de pouvoir en matière d'énergie et les obstacles étaient nombreux pour arracher de Paris les autorisations souhaitées. L'exemple des projets géothermiques de Cronembourg et Lutterbach est à ce titre assez révélateur.

Le conservatisme politique prédominant en Alsace peut être en lui-même facteur d'inertie. Par ailleurs, quand un gouvernement s'attaque au déficit de la balance commerciale sans définir devant le pays les priorités que sont l'énergie et la filière bois, on mesure les pesanteurs qu'il reste à secouer.

Les obstacles économiques

Les incitations financières sont souvent insuffisantes, bien qu'améliorées depuis la crise pétrolière. Les subventions à la TEP économisée ne sont pas incitatives en elles-mêmes (400 F depuis 1977) alors qu'on estime qu'une subvention de 2 000 F/TEP économisée peut être amortie par la collectivité nationale en deux à quatre ans, du seul fait de l'accroissement induit des ressources fiscales permises par la croissance du PIB¹ et la diminution du chômage qu'entraîne l'économie d'énergie².

8 Produit Intérieur Brut : mesure de la production d'un pays

9 Source : J. Haëntjens, *Energie-Emploi*, 1981

L'utilisation collective des énergies renouvelables n'est pas plus encouragée par des prêts bonifiés et désencadrés que tout autre équipement collectif économisant l'énergie. L'institution récente du « label solaire » dans le diagnostic énergétique d'un logement, permettant l'accès à un montant de prêt plus important, est un progrès, mais tellement insuffisant ! Les énergies renouvelables doivent subir la concurrence déloyale des autres énergies dont les nuisances ne sont pas prises en compte et dont les frais de recherche, les investissements, ont déjà été amortis (excepté pour le nucléaire).

Un investissement important pour un particulier amortissable entre 6 et 10 ans risque de rebuter l'utilisateur. Un prêt à long terme, avec bonification d'intérêts, tenant compte des caractéristiques du projet d'utilisation d'énergies renouvelables, serait alors une incitation puissante et peu onéreuse pour trois ans de fonctionnement par exemple, permettrait de rendre le système de prêts plus efficace.

Il n'existe pas encore de *contrats* permettant d'assurer aux industries « solaires » des marchés fermes et continus dans le temps, qui les inciteraient à investir (contrats avec la Région, les HLM, l'Education nationale etc...)

Les crédits accordés à la recherche et au développement des énergies renouvelables sont ridiculement bas comparés à ceux du Commissariat à l'énergie atomique : respectivement 182 MF et 2356 MF en 1980.

La lourdeur des investissements dans l'énergie nucléaire, l'importance des intérêts financiers de grandes firmes généralement multinationales qui forment l'industrie nucléaire, bloquent toute évolution ultérieure vers les énergies renouvelables, non seulement parce que cet argent n'est pas investi en elles, mais aussi parce que l'importance même de la production électrique nucléaire a installé la France dans une dépendance technologique et économique lourde vis-à-vis d'une seule source d'énergie : l'uranium ; d'une seule technologie : la centrale nucléaire ; d'un seul vecteur d'énergie : l'électricité. Si des craquements se font jour actuellement dans la politique nucléaire française, il n'est pas sûr que s'ouvre automatiquement la voie au solaire.

Le pouvoir d'EDF dans les décisions à long terme sur la politique énergétique française, et jusque dans l'orientation des mesures visant à l'économie d'énergie dans l'habitat collectif HLM, est le plus souvent un mur infranchissable pour toute initiative en direction des énergies renouvelables. La politique d'incitation d'EDF en faveur de la pénétration du chauffage électrique ou des pompes à chaleur coupe l'herbe sous le pied aux possibilités du « solaire ».

Les obstacles législatifs

Le monopole d'EDF dans la distribution de l'énergie électrique ne permet pas le développement des réseaux autonomes locaux.

Le prix d'achat du kwh par EDF n'est pas un prix juste ; il ne tient pas compte du niveau de risque financier ni de la hauteur de l'investissement consenti par un individu, une entreprise ou une collectivité.

La régionalisation, bien qu'inscrite depuis peu dans les textes, reste à faire : comme nous l'avons montré, elle est la condition d'une politique solaire digne de ce nom.

Les pouvoirs des régions doivent être accrus (politique énergétique régionale, Agence Alsace Energie), ainsi que ceux des communes.

La concertation entre tous les acteurs socio-économiques d'une région doit être la voie obligée.

Le droit au soleil est inexistant en France : tant qu'on n'empêchera pas un bâtiment d'être construit parce qu'il fait de l'ombre aux habitations voisines, le solaire restera cantonné aux maisons de campagne et aux toits des HLM. Il faut donc changer le code d'urbanisme dans ce sens, en le régionalisant.

L'obligation au solaire n'existe pas encore. Elle devra être pourtant inscrite dans les règles de construction individuelle et collective pour assurer la généralisation de la couverture solaire bioclimatique des habitations.

Les obstacles psychologiques

L'information, la démonstration et la publicité étant fort réduites en ce qui concerne les énergies renouvelables, la plupart des gens « n'y croient pas ». Ils restent sceptiques et méfiants devant ces techniques nouvelles et ces matériaux qui n'ont pas le puissant aval des instances officielles et qui restent marginaux.

Il faudra plus d'un méthaniseur en fonctionnement pour convaincre l'agriculteur. Les solutions traditionnelles au fuel sont préférées par l'horticulteur pour ses serres à l'implantation d'une éolienne ou d'un chauffage à granulats etc...

Un obstacle de plus

Il nous paraît important de souligner, pour finir, qu'un des plus grands obstacles est sans doute la poursuite aveugle et obstinée d'une politique industrielle ou de recherche axée sur les surgénérateurs et la fusion thermonucléaire.

Présentées souvent comme *LE* seul recours aux problèmes énergétiques mondiaux, ces techniques présentent des inconvénients majeurs :

– les surgénérateurs ne sont pas rentables ; EDF n'est d'ailleurs pas favorable à leur développement, mais le CEA et l'Armée en attendent beaucoup pour la production de plutonium (armement atomique) ;

- les surgénérateurs sont bien plus dangereux que les centrales nucléaires à l'uranium enrichi de type PWR comme Fessenheim ;

- l'effet de surgénération reste encore à prouver compte tenu des pertes dans le cycle du plutonium ;

- la fusion thermonucléaire est loin d'être domestiquée ; elle présente aussi des risques importants de pollution radioactive, mais surtout un niveau de densité d'énergie extrêmement concentré. La structure centralisée de la société nucléaire s'en trouverait renforcée d'autant.

Les espoirs placés par certains dans ces deux filières qui s'attribuent abusivement le qualificatif d'énergies du XXI^e siècle et l'argent qui y est englouti occultent la voie solaire. Les orientations actuelles des développements scientifiques tendent plutôt à prouver que le XXI^e siècle sera celui des sciences biologiques, comme le XX^e siècle aura été celui de la physique et le XIX^e celui de la chimie.

La biomasse est au rendez-vous. Le soleil, lui, est déjà là.

IV - Les atouts

Nécessité fait loi :

La menace d'une raréfaction des énergies fossiles a brusquement fait prendre conscience aux pays en

crise de l'existence et de l'intérêt des énergies renouvelables. La nécessité d'un approvisionnement régulier en énergie, à portée de tous, milite en faveur des énergies du soleil.

Indépendance

Le soleil inonde toute la planète. Notre scénario énergétique montre qu'une région, un pays, peuvent être autonomes en énergie. Y a-t-il plus grande indépendance que celle-ci ? Et avec elle, l'assurance de ne jamais manquer d'énergie parce que tel pays aura coupé ses exportations.

Décentralisation et démocratie

- Les énergies renouvelables demandent par nature une exploitation décentralisée au niveau des individus et des collectivités locales. Elles sont une chance pour une société démocratique.

- Un pays décentralisé est difficile à occuper en cas de conflit international. La décentralisation des lieux de production électrique et énergétique, des centres de décision économique, politique et militaire complique, voire paralyse toute attaque ennemie. A ce titre, la décentralisation est aussi un plan cohérent de défense civile.

Créations d'emplois

Les objectifs de l'Agence pour les Economies d'Energie (aujourd'hui AFME) susciteront la création

de 200 000 emplois d'ici à 1990 pour une économie de 80 MTEP en l'an 2 000. Le Comité d'Action pour le Solaire a calculé que les perspectives d'une satisfaction possible de 21 à 25 % des besoins énergétiques français par les énergies solaires permettraient de créer 500 000 emplois d'ici 1990.

Les raisons en sont essentiellement les suivantes :

- accroissement du Produit Intérieur Brut (PIB) ;
- économies en devises (moins de pétrole, de charbon, d'uranium, de bois importés) ;
- énergies très décentralisées, donc nécessitant plus d'emplois par TEP produite : on peut considérer qu'une MTEP économisée d'ici 1990 crée 3 500 emplois ¹⁰, alors qu'une MTEP d'électricité nucléaire ne crée que 720 emplois ;
- effet d'entraînement économique local et régional.

Relations égalitaires avec le Tiers Monde

Le soleil est l'énergie de tous. Les pays du Tiers Monde ont là un atout important qui est aussi le nôtre. Les échanges énergétiques entre pays industrialisés et Tiers Monde se feront sur des bases beaucoup plus justes puisqu'il n'y aura plus de pillage des ressources énergétiques du Tiers Monde.

L'échange technologique sera nécessaire pour l'expérimentation et l'adaptation du solaire aux besoins de ces pays, permettant leur indépendance et leur essor. La France se doit de prendre une part

¹⁰ D'après l'ARENE, dans *Energie-Emploi*, Haëntjens, 1981.

importante dans le développement des industries du Tiers Monde.

Les atouts alsaciens

En comparaison avec les autres régions françaises, l'Alsace jouit d'avantages déterminants pour la mise en œuvre d'une politique des énergies renouvelables :

- le Rhin fournit depuis des décennies une énergie électrique aujourd'hui largement suffisante pour couvrir les besoins annuels de l'Alsace en électricité ; son équipement peut encore être amélioré et accru ;

- la forêt publique alsacienne est très étendue et mieux exploitée que dans de nombreuses autres régions . C'est un atout pour le développement de la biomasse ;

- les ressources géothermiques sont exceptionnelles : elles permettront d'assurer le passage vers un régime possible d'autosuffisance solaire ;

- l'Alsace est riche de sa vie associative qui lui donne déjà la pratique et le goût de la discussion et du dialogue. Une politique solaire sera l'œuvre de tous.

Par ce livre, nous avons voulu montrer aux Alsaciens, à ceux d'entre eux qui animent la vie économique, sociale et politique de notre région, que la voie vers une Alsace solaire, mettant en chantier

toutes ses énergies pour assurer ses besoins, est ouverte et possible.

Cet avenir solaire que nous proposons n'a rien d'un retour à la bougie. Les techniques d'aujourd'hui et de demain s'y donnent rendez-vous : biotechnologies, informatique, robotique, centrales solaires, photoélectronique etc...

Ce Projet Alter Alsace est une ambition régionale pour l'Alsace.

Pour créer dès aujourd'hui les conditions de cet avenir, renouvelons l'Alsace.

ANNEXE

Projet pour l'« Agence Energie Alsace »

Proposé par le groupe de travail des mouvements de consommateurs, des mouvements de protection de l'environnement et de promotion des énergies renouvelables

L'agence doit être un instrument de travail pour le plan régional et également pour le plan national,

- en proposant une politique régionale de l'énergie ;

- en exécutant et développant cette politique.

Précisons ses objectifs puis ses missions avant d'aborder sa structure juridique, son fonctionnement et son financement.

1 - Objectifs

a) *Elaborer le plan énergétique régional 83-88 et le suivant en s'appuyant sur une large concertation de tous les acteurs et une bonne connaissance de la situation énergétique actuelle de la région et de ses potentialités.*

b) *Faire prendre en compte dans la politique nationale et dans les décisions des grands opérateurs énergétiques les données régionales, principalement :*

- la situation de Strasbourg, port relié à la mer accueillant facilement les péniches de charbon ;
- l'existence, en Alsace, d'une main d'œuvre de grande qualité capable d'évoluer rapidement ;
- la politique nationale devra aussi prendre en compte la fragilité d'équilibre des milieux naturels de l'Alsace.

c) *Promouvoir la mise en œuvre des ressources énergétiques régionales, en particulier des énergies renouvelables :*

- de l'énergie solaire (beaucoup plus importante en Alsace qu'on ne le croit) ;
- du bois (par une exploitation forestière respectueuse de l'environnement et une meilleure valorisation des sous-produits de la forêt) ;
- de la biomasse par la mise à disposition des nombreuses exploitations familiales de procédés de méthanisation adaptées à leur possibilité ;

- de la géothermie ;
- de l'exploitation rationnelle des nombreuses petites et moyennes chutes d'eau tout en préservant l'éco-système ;
- de l'énergie éolienne ;
- de la valorisation des déchets.

d) *Assurer une gestion rationnelle de l'énergie*

- pour une étude systématique et chiffrée des flux d'énergie de la région ;
- par une connaissance approfondie des gisements énergétiques propres à la région (vents - carte solaire - microcentrales - géothermie...)

II - Mission de l'Agence Energie Alsace

a) *Mission d'études*

- l'agence aura accès à toutes les études existantes relatives à l'énergie,
- pourra susciter et commander des études auprès d'organismes compétents, dans le but d'élaborer la politique régionale de l'énergie.

b) *Une mission d'information, de documentation, de formation*

- de recensement de toute information technique, juridique et fiscale existant déjà dans les services de la région et des administrations (D.I.I., D.D.E., E.D.F.) et mise à disposition de tous les intéressés ;

- de formation aussi bien des professionnels, de responsables de collectivités locales que des cadres des associations, vecteur de transmission la plus étendue des informations ; cette formation se fera en liaison avec l'université, le C.N.R.S., l'Education nationale, les chambres consulaires et les associations.

c) *Une mission d'incitation et de promotion de tous les moyens de maîtrise de l'énergie et de production des énergies renouvelables*

- par le conseil de diagnostiqueurs, de maîtres d'ouvrages,
- par le financement d'opérations-pilotes,
- par une assistance technique aux collectivités locales,
- par des soutiens contractuels de marché.

d) *Une mission de coordination* de tout ce qui se fait tant au point de vue recherches qu'au point de vue réalisations.

Et *une mission de concertation*. Elle animera pour ce faire un comité de concertation qui rassemblera les différents partenaires concernés, en particulier AFME, DII, EDF et ES, DDR, EPR, etc...

e) *Une mission d'évaluation technique* des dossiers soumis à l'EPR ou l'AFME. Elle soumettra son avis à la cellule technique de l'EPR, son rôle étant consultatif et sans confusion avec celui de ladite cellule.

Elle assurera, par délégation, le suivi technique des projets au cours de leur réalisation pour réguler

les critères d'attribution en fonction des résultats obtenus.

III - Nature juridique de l'Agence Energie Alsace

a) Composition

Nous proposons une association de droit local parce que c'est une structure souple, de gestion facile, favorisant les rencontres des différents partenaires.

Etant donné le flou juridique qui entoure actuellement la régionalisation, nous l'estimons particulièrement adaptée à cette période de transition.

Sa crédibilité, ses contacts avec l'administration, ses rapports avec les industriels seront étroitement fonction de sa composition, ses compétences et ses attributions.

- *Les adhérents*

L'association est définie par ses adhérents collectifs : associations, organismes institutionnels et entreprises.

- *Le conseil d'administration*

Il sera composé de 3 collèges :

- un collège des élus :
7 élus régionaux

4 élus départementaux

2 élus locaux

Total 13

- un collège des associations :

1 élu des assoc. familiales

1 élu des assoc. d'éducation populaire

2 élus des assoc. de consommateurs (y compris les mouvements d'origine syndicale)

2 élus des assoc. de protection de l'environnement ayant manifesté leur intérêt pour l'énergie

Total 6

- un collège socio-économique :

2 élus des chambres consulaires

1 élu des producteurs distributeurs (EDF, ES, GDF, CDF, Pétroliers)

2 élus des syndicats ouvriers

1 élu des promoteurs ou distributeurs des énergies renouvelables

1 représentant de l'AFME

Total 6

Le total des sièges du conseil d'administration sera de 25.

- *Conseil scientifique*

Il est désigné par le conseil d'administration sur proposition de chacun des collèges, de telle façon que les différents domaines des compétences de l'agence ressortant de ses missions soient représentés.

Il donne à titre consultatif son avis sur les orientations ou sur tout sujet dont il sera saisi par le conseil

d'administration ou le directeur de l'agence (cf. paragraphe « fonctionnement »).

- *Personnel*

- *Personnel administratif*

Il est au moins composé d'un directeur compétent en matière d'énergie, d'une secrétaire et d'une documentaliste. Ce personnel devra être étoffé pour créer des antennes décentralisées (en particulier en ce qui concerne l'information et la documentation) dans un premier temps à Colmar et à Mulhouse. Ce personnel sera mis à disposition par le conseil régional et approuvé par le conseil d'administration. Il aura un statut stable.

- *des chargés de mission* mis à la disposition par les ministères concernés ou organismes compétents.

- *des correspondants* dans les différents services ou organismes compétents dans la région, chargés de suivre les dossiers.

b) Fonctionnement

Le conseil d'administration assure la bonne exécution des missions dévolues à l'agence.

Le conseil d'administration recrute le personnel et le directeur sur proposition de l'EPR.

Le conseil d'administration assure la coordination et la concertation avec le Conseil Régional, l'A.F.M.E., et les directions régionales concernées et départementales.

Le conseil d'administration assure le suivi des dossiers (1 représentant d'Energie Alsace est membre de SOFERGIE ENERGECO).

Les membres du conseil d'administration d'Energie Alsace reçoivent des indemnités atténuant leur perte de salaire et sont défrayés de leurs frais de déplacements.

Le directeur assure le fonctionnement de l'Agence sous le contrôle du conseil d'administration. Pour assurer sa mission dans les meilleures conditions d'efficacité, il crée les commissions nécessaires et consulte au besoin le conseil scientifique.

L'agence dispose de locaux à Strasbourg, mis à disposition par l'EPR ou les organismes régionaux compétents, pour lui permettre d'effectuer ses missions dans de bonnes conditions de travail. Le siège social de l'association est situé dans ces locaux.

c) Financement

Nous proposons 3 sources de financement pour couvrir les frais de fonctionnement et d'investissement :

- les cotisations des membres,
- une taxe parafiscale sur la production d'énergie quand la législation le permettra,
- une enveloppe régionale.

d) Budget

Fonctionnement :

Frais de personnel	500 000	
Locaux	60 000	
Fonctionnement + frais de secrétariat frais de mission du personnel	80 000	
	50 000	
	<hr/>	690 000 F

Equipement :

Bureau, salle de réunions, salle de documentation)	150 000 F
-------------------------------------------------------	-----------

Missions :

Information, documentation	200 000	
Etudes	400 000	
Suivi des dossiers	100 000	
Stages	150 000	
Expositions, matériel pédagogique	100 000	
Assistance technique	50 000	
	<hr/>	1 000 000 F

Total général : 1 840 000 F

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages généraux

L'énergie (collectif), Ed. Bordas, 1981.

Projet Alter, esquisse d'un régime à long terme tout solaire (collectif), Ed. Syros, 1978.

Produire son énergie (I.R.I. et A.R.E.S.), La maison rustique, 1981.

La maison aux énergies douces (Brenda et Vale), Ed. du Moniteur, 1979.

Energies : des choix pour mieux vivre (C.S.C.V.), Ed. Syros, 1981.

La recherche sur les énergies nouvelles (collectif), Ed. du Seuil, 1980.

Solaire

L'énergie solaire, perspectives économiques (J. Percebois), Ed. du C.N.R.S., 1975.

Les énergies du soleil (P. Audibert), Ed. du Seuil, 1978.

Guide de la France solaire (Comité d'Action pour le Solaire), *Action solaire* n° hors série, juin 1982 et 83.

Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications (R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz), Technique et vulgarisation, 1980.

Energie solaire et stockage d'énergie (R. Dumon), Masson, 1979.

L'aube des énergies solaires (C. Vauge, M. Bellanger), Hachette, 1980.

L'électricité solaire (W. Palz), Dunod-Unesco, 1981.

L'architecture solaire (Association pour l'étude de l'énergie solaire de Veynes), Presses Universitaires de Grenoble, 1980.

Les capteurs héliothermiques (J. Desantel), Edisud-Pyc Edition, 1979.

Effets de serres, conception et construction de serres bioclimatiques (I. Hurpy, F. Nicolas), Edisud - Pyc Edition, 1981.

Archi Bio (J.-L. Izard), Parenthèses (éditions), 1979.

L'habitat solaire : comment ? (G. Alexandroff, A. Liebard), *Solaire 1* magazine - L'équerre éditeur, 1979.

Le chauffe-eau solaire (T. Cabirol, A. Péliou, D. Roux), Edisud, 1980.

Maisons solaires, premiers bilans (J.P. Ménard), éd. du Moniteur, 1980

Géothermie

Solaire et géothermie contre pétrole (J. Olivet), Ed. du Moniteur, 1981.

La géothermie (J. Goguel), Doin, 1975.

La géothermie, exploration, forage, exploitation (H. Christopher, H. Armstead, BRGM), Ed. du Moniteur, 1981.

Energie éolienne

Energie éolienne, théorie, conception et calcul pratique des installations (D. Le Gourières), Eyrolles, 1980.

Eoliennes et aérogénérateurs (G. Cuntty), Edisud, 1979.

Le vent, les éoliennes et l'habitat (P. Le Chapellier), Eyrolles, 1981.

Produire son énergie avec le vent (R. Roger), Ed. de la Lanterne, 1981.

Le vent, une inépuisable source d'énergie, Jacques Grancher Editeur, 1981.

Energie hydraulique

Micro-centrales hydrauliques (J. Bernard, S. Maucor), Ed. Alternatives, 1980.

- Les microcentrales hydroélectriques* (L. Monition, M. Le Nir, J. Roux), Masson, 1981.
- L'énergie hydraulique* (R. Ginoccio), Eyrolles, 1978.

Biomasse

- Biomasse et énergie* (Institut National Agronomique Paris-Grignon), 1980.
- La biomasse, énergie verte* (F.G.A.-C.F.D.T.), Ed. Syros - Montholon Service, 1981.
- La biomasse : ressources et perspectives d'avenir dans la Communauté européenne* (W. Palz, P. Chartier), Ed. du Moniteur, 1982.
- La forêt, source d'énergie et d'activités nouvelles* (R. Dumon), Masson, 1980.
- Biométhane* (B. Lagrange), Edisud, 1979.
- La conversion bioénergétique du rayonnement solaire et les biotechnologies* (A. Demeyer, F. Jacob, M. Jay, G. Menguy), Technique et documentation, 1981.

Alsace

- Le nucléaire contre l'Alsace* (T. Jund), Ed. Syros, 1977.
- Etude relative à la valorisation des énergies nouvelles, la récupération de la chaleur et les économies d'énergie* (Association L. Baldner, E.P.R. Alsace), 1980.

ACHEVE D'IMPRIMER
SUR LES PRESSES
LIENHART ET C^{IE} A



EN SEPTEMBRE 1983
DE L'IMPRIMERIE
AUBENAS D'ARDECHE

N° 2042 - *Imprimé en France*
N° d'éditeur 127
DEPOT LEGAL : SEPTEMBRE 1983

La crise de l'énergie est un mythe : ce n'est pas de pétrole, de charbon ou d'uranium dont nous avons besoin, mais de chaleur, de combustibles et d'électricité. Ces besoins peuvent être entièrement satisfaits par les énergies renouvelables (solaire, hydraulique, éolienne et biomasse) avec les techniques d'aujourd'hui. La démonstration est faite : une région comme l'Alsace pourrait se suffire à elle-même.

Ouvrage de vulgarisation pour les usagers, d'information pour les collectivités, le Projet Alter Alsace propose à tous les moyens d'une véritable alternative énergétique régionale.

L'association Projet Alter Alsace œuvre depuis plusieurs années au développement des énergies renouvelables et de la géothermie en Alsace. Par l'information du public. Par la réalisation de projets concrets.



9 96 456 Prix 49 F

SYROS

ISBN 2 81

La France des points chauds