

TRAVAUX ET RECHERCHES DE PROSPECTIVE

schéma  
général  
d'aménagement  
de la France

# énergie et régions

PRODUCTION ET CONSOMMATION  
PERSPECTIVES 1985/2000

79

**TRAVAUX ET RECHERCHES DE PROSPECTIVE**

**schéma  
général  
d'aménagement  
de la France**

# **énergie et régions**

**PRODUCTION ET CONSOMMATION  
PERSPECTIVES 1985/2000**



# Avant-propos

## Énergie et développement régional

Il est également reconnu aux sources d'énergie un grand rôle dans la localisation des activités. Il suffit d'examiner où est située la majeure partie des secteurs industriels fortement consommateurs pour s'en convaincre. Cet effet structurant des équipements de production d'énergie apparaît clairement dans le cas des sources d'énergie primaire à localisation géographiquement déterminée. Il faut en effet distinguer les deux niveaux de la production d'énergie, *production primaire* et production finale. La première s'identifie aux ressources propres d'un territoire et intervient donc (dans sa part nationale) pour le calcul du degré d'indépendance énergétique d'un pays \*. Elle comprend les formes d'énergies fournies par le milieu naturel et susceptibles d'être utilisées dans l'état : les combustibles minéraux solides, le gaz naturel, l'hydro-électricité, le pétrole brut, la géothermie et les énergies renouvelables. Ces formes d'énergie ont une production « localisée », liée géographiquement à l'existence d'un gisement. C'est sous leur forme originelle qu'elles ont d'abord été utilisées. Ce sont ces sources d'énergie qui ont permis l'expansion industrielle de notre pays et ont profondément modelé la géographie économique.

La *production finale* englobe l'ensemble de l'énergie produite en vue d'une utilisation. La production finale est donc égale par définition à la consommation finale d'énergie. Elle comprend la portion de la production primaire (nationale ou importée) et de la production secondaire (énergie transformée) directement consommée par les utilisateurs. L'énergie nucléaire (utilisée actuellement principalement sous la forme électrique) prend sa place dans la production finale d'énergie. Elle ne peut être incluse dans la production primaire que dans la mesure où le combustible nécessaire est extrait et traité sur place. Enfin, l'énergie nucléaire ne se caractérise pas comme les formes primaires d'énergie par une localisation précise sur le territoire liée à l'existence d'un gisement.

Les volumes respectifs des productions primaires et finales se sont profondément modifiés depuis 20 ans, ainsi que les parts des différentes branches productrices.

Nous allons examiner successivement comment l'énergie, sous ses différentes formes, contribue à la localisation et à la concentration des activités industrielles sur le territoire (I et II), avant de présenter et de résumer brièvement l'étude de l'Institut Economique et Juridique de l'Energie (III).

Nous allons examiner successivement comment l'énergie, sous ses différentes formes, a contribué à la localisation et la concentration des acti-

---

\*  $\frac{\text{production primaire nationale}}{\text{consommation totale}}$



vités industrielles sur le territoire et quel est à ce titre le rôle que pourront jouer les nouvelles formes d'énergies dans le développement régional.

## **I. L'ENERGIE FACTEUR DE LOCALISATION**

### **1. Les gisements traditionnels d'énergie primaire**

L'existence d'un gisement d'énergie a été pendant très longtemps une condition nécessaire à l'implantation et au développement des établissements humains. La forêt a été le premier grand gisement d'énergie primaire. L'utilisation énergétique du bois est maintenant extrêmement réduite. Elle pourrait reprendre dans quelques années une place non négligeable dans le bilan de production primaire.

Les principales formes d'énergie primaire sont, dans l'ordre de facilité croissante de transport, les combustibles minéraux solides, le gaz naturel et l'hydro-électricité.

#### *1.1. Les gisements de combustibles minéraux solides : points de concentration d'industries anciennes fortes consommatrices d'énergie*

Les bassins houillers ont constitué les premières « régions naturelles » de production d'énergie en France.

En 1960, la production charbonnière française couvrait 45 % de nos besoins en énergie primaire. Cette part s'est réduite à moins de 9 % en 1978, mais la géographie des gisements détermine encore profondément la géographie économique du pays.

Les bassins du Nord - Pas de Calais et de la Lorraine essentiellement, et de façon plus limitée les gisements dispersés du Centre et du Midi, ont été le support d'un développement industriel intense lié à l'utilisation de la houille et de ses dérivés.

En 1960, le Nord - Pas de Calais et la Lorraine se situaient au deux premiers rangs de nos actuelles régions économiques dans le domaine de la production énergétique fondée ici essentiellement sur la houille et ses dérivés immédiats (agglomérés, coke), et plus lointains (électricité thermique classique). Ensemble, ils assuraient plus du tiers de la production énergétique finale (contre 18 % environ actuellement). Les gisements de ces deux régions restent toujours les plus importants dans la production nationale de combustibles solides (76 % en 1964, 68 % en 1977). Le tableau suivant montre l'évolution de la production de 1964 à 1977 en milliers de tonnes.

|                                | Production primaire de charbon<br>et de lignite |        |        | Consommation CMS dans l'industrie<br>en 1977 (1) |      |                                  |      |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------------------|------|----------------------------------|------|
|                                | 1964                                            | 1972   | 1977   | Cons.<br>totale                                  | Rang | Cons./<br>sal.<br>Tonne/<br>sal. | Rang |
| Lorraine                       | 26 524                                          | 11 030 | 10 033 | 6 151                                            | 1    | 21,46                            | 1    |
| Nord - Pas de Calais           | 15 211                                          | 9 905  | 6 641  | 2 973                                            | 2    | 6,33                             | 3    |
| Bourgogne                      | 2 413                                           | 1 353  | 1 827  | 51                                               | 16   | 0,31                             | 13   |
| Aquitaine                      | 568                                             | 1 312  | 1 807  | 75                                               | 15   | 0,42                             | 10   |
| Provence - Alpes - Côte d'Azur | 1 695                                           | 1 449  | 1 272  | 1 528                                            | 3    | 7,13                             | 2    |
| Midi-Pyrénées                  | 2 120                                           | 1 171  | 1 044  | 142                                              | 7    | 0,91                             | 6    |
| Rhône-Alpes                    | 2 936                                           | 1 087  | 796    | 498                                              | 4    | 0,81                             | 7    |
| Languedoc-Roussillon           | 2 134                                           | 942    | 556    | 102                                              | 11   | 1,30                             | 5    |
| Auvergne                       | 1 014                                           | 458    | 397    | 76                                               | 14   | 0,57                             | 9    |
| Autres                         | 9                                               | 27     | 0      | 1 181                                            |      | 0,38                             |      |
| dont : Basse-Normandie         | 0                                               | 0      | 0      | 381                                              | 5    | 2,93                             | 4    |
| autres                         |                                                 |        |        | 801                                              |      | 0,27                             |      |
| TOTAL                          | 54 624                                          | 28 734 | 24 373 | 12 772                                           |      | 2,34                             |      |

(1) Consommation de combustibles minéraux solides primaires et secondaires dans l'industrie en 1977 (sidérurgie comprise).  
(Unité : 1 000 tonnes)

Source : Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie. « Consommation apparente d'énergie par région en 1977 ».

Les deux dernières colonnes du tableau indiquent la consommation de combustibles solides (houille et dérivés immédiats, coke et agglomérés) dans l'industrie (sidérurgie comprise), ainsi que la consommation par salarié de l'industrie. Cette consommation n'inclut pas la transformation de combustibles solides sous toute autre forme d'énergie. On voit distinctement apparaître trois régions fortement consommatrices : la Lorraine, le Nord-Pas-de-Calais et la région Provence. Ces trois régions ont une industrie sidérurgique importante, d'implantation ancienne pour les deux premières, récente pour la troisième. Les autres régions productrices de charbon sont également des régions où se sont concentrées des industries grosses consommatrices de cette forme d'énergie. Une fois la Basse-Normandie mise à part — une activité sidérurgique importante s'y est développée à proximité du gisement de minerai de fer de Mondeville — la consommation de CMS dans l'industrie par salarié des régions productrices est nettement supérieur à celle des régions non-productrices. Les régions Aquitaine et Bourgogne apparaissent cependant en retrait. Une part importante (80 %) de la consommation finale énergétique de combustibles solides est absorbée par le secteur résidentiel, pour la Bourgogne (contre seulement 31 % pour l'ensemble de la France). Mais surtout 45 % de la production de houille en Bourgogne est consommée sur place par la centrale thermique de Montceau-les-Mines et 100 % de la production de lignite d'Aquitaine par la centrale d'Arjuzanx. Il s'agit là d'un gisement qui a été exploité relativement récemment, essentiellement en vue de la production d'électricité.

## 1.2. Les gisements de gaz de Lacq et les grandes régions de production hydro-électrique

Ces deux formes d'énergie primaire (gaz naturel et hydro-électricité) ont les caractéristiques communes de pouvoir être transportées — par un réseau — beaucoup plus facilement que les combustibles solides et d'être remplaçables (ou complétées) par des productions secondaires d'énergie (gaz de charbon, haut-fourneau et pétrole d'une part, électricité thermique classique et nucléaire d'autre part). Ces deux raisons pourraient jouer en faveur d'une grande homogénéité des niveaux de consommations sur le territoire.

En fait, pour le gaz surtout, mais aussi, dans une moindre mesure, pour l'électricité, les disparités de consommations sont très grandes et de manière générale les régions les plus fortement consommatrices sont celles qui disposent d'une ressource d'énergie primaire abondante.

Quatre régions disposent de ressources de gaz naturel. La région Aquitaine se détache très nettement avec le gisement de Lacq. Les régions Nord-Pas-de-Calais, Lorraine et Midi-Pyrénées ont également une production associée aux exploitations minières pour les deux premières et au gisement en voie d'épuisement de Saint-Marcet en Haute-Garonne.

|                      | Production de gaz naturel |       |       | Consommation de gaz dans l'industrie en 1977 (1) |      |                        |      |
|----------------------|---------------------------|-------|-------|--------------------------------------------------|------|------------------------|------|
|                      | 1966                      | 1974  | 1977  | Cons. totale                                     | Rang | Cons./sal. (tep./sal.) | Rang |
| Aquitaine            | 4 520                     | 6 872 | 7 296 | 858                                              | 4    | 4,81                   | 2    |
| Lorraine             | 49                        | 63    | 74    | 1 311                                            | 2    | 4,57                   | 3    |
| Midi-Pyrénées        | 187                       | 87    | 67    | 1 037                                            | 3    | 6,60                   | 1    |
| Nord - Pas-de-Calais | 44                        | 26    | 38    | 1 794                                            | 1    | 3,82                   | 4    |
| Autres               | 16                        | 3     | 0     | 5 127                                            |      | 1,18                   |      |
| TOTAL                | 4 816                     | 7 051 | 7 475 | 10 127                                           |      | 1,86                   |      |

Source : CEREN, ouvrage cité.

(1) Consommation de gaz naturel et autre dans l'industrie en 1977 (sidérurgie comprise).

Unité 1 000 tonnes d'équivalent pétrole : 10 millions de thermies.

La polarisation des industries grosses consommatrices d'électricité autour des plus grandes régions de production primaire (hydro-électricité) apparaît également. Les grands réservoirs d'énergie hydraulique sont les Alpes, la vallée du Rhône et de la Durance, le Rhin, les Pyrénées et dans une moindre mesure le Massif Central (haute vallée de la Dordogne).

|                                | Prod. hydr. en 1977 | Consommation d'électricité dans l'industrie en 1977 (1) |      |            |      |
|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|------|------------|------|
|                                |                     | Cons. totale                                            | Rang | Cons./sal. | Rang |
| Rhône-Alpes                    | 26 779              | 17 952                                                  | 1    | 29,1       | 5    |
| Provence - Alpes - Côte d'Azur | 17 884              | 6 808                                                   | 4    | 31,9       | 2    |
| Midi-Pyrénées                  | 10 135              | 5 590                                                   | 6    | 35,6       | 1    |
| Alsace                         | 8 390               | 3 010                                                   | 10   | 15,4       | 9    |
| Autres                         | 15 148              | 56 627                                                  |      | 13,3       |      |
| TOTAL                          | 78 336              | 89 987                                                  |      | 16,5       |      |

Source : CEREN, ouvrage cité.

(1) Consommation d'électricité dans l'industrie en 1977 (sidérurgie comprise, autoproduction non comprise).

Unité : millions de kWh (= 222 tonnes d'équivalent pétrole) et milliers de kWh/sal.

Remarque : La production hydro-électrique a été exceptionnelle en 1977. La productibilité en années moyennes est de 62 000 de kWh environ.

### 1.3. *Un autre facteur de polarisation des activités : la proximité des points d'importation de pétrole brut*

Aux formes d'énergie successivement examinées ci-dessus — combustibles solides, gaz, hydro-électricité — qui, par la localisation géographique déterminée de leur production sur le territoire, ont profondément orienté le développement des industries fortes consommatrices, il est tentant d'ajouter le pétrole. La production française est très faible, mais les quantités importées chaque année sont considérables (plus du double de la totalité de la production primaire française). Malgré la relative facilité de transport du pétrole brut, et la nécessité de le transformer pour la plus grande part des utilisations, les points d'importation ont joué un rôle de polarisation des activités industrielles comme les gisements nationaux d'énergie primaire.

Deux régions littorales concentrent 80 % des importations du pétrole et assurent plus du tiers de la production d'énergie finale en France. Il s'agit de la vallée de la Seine, de Rouen à la mer, et de la région marseillaise englobant le pourtour de l'étang de Berre et celui du golfe de Fos.

La prépondérance de ces régions s'est progressivement affirmée depuis une quinzaine d'années avec la rapide montée de la part du pétrole dans le bilan énergétique national. Ce sont en effet, et de loin, les principales régions de raffinage depuis près de cinquante ans. Deux avantages spécifiques de ces deux régions ont déterminé cet essor : la localisation maritime et le débouché des grands sillons de concentration industrielle et urbaine.

Trois atouts peuvent être attachés à la localisation maritime : la facilité d'importation d'une matière première provenant presque exclusivement d'outre-mer, la possibilité d'exportation et de transport le long du littoral par cabotage d'une partie de la production raffinée et l'existence d'un marché des soutes.

La proximité de grands marchés de consommation, commodément desservis par les axes de circulation des vallées de la Seine et du Rhône, a assuré un débouché important à la part de la production qui n'était pas consommée sur place.

L'examen des consommations de produits pétroliers dans l'industrie, par région, montre bien l'effet de polarisation autour des zones de débarquement des produits pétroliers. Deux centres de consommation importants apparaissent également sans que la consommation par salarié soit plus élevée que la moyenne, il s'agit de la région Ile-de-France et de la région Rhône-Alpes.

| Consommations de produits pétroliers dans l'industrie (sidérurgie comprise)<br>en 1977 |               |      |                        |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------|------------------------|------|
|                                                                                        | Cons.<br>ktep | Rang | Cons./sal.<br>tep/sal. | Rang |
| Provence - Alpes - Côte d'Azur                                                         | 1 481         | 5    | 6,95                   | 1    |
| Languedoc                                                                              | 508           | 15   | 6,50                   | 2    |
| Haute-Normandie                                                                        | 1 247         | 6    | 6,00                   | 3    |
| Lorraine                                                                               | 1 550         | 4    | 5,40                   | 4    |
| Nord                                                                                   | 2 414         | 1    | 5,15                   | 5    |
| Picardie                                                                               | 1 116         | 7    | 4,95                   | 6    |
| Autres                                                                                 | 11 239        |      | 2,83                   |      |
| ( Rhône-Alpes                                                                          | 2 269         | 2    | 3,70                   | 10   |
| dont ( Ile-de-France                                                                   | 2 209         | 3    | 1,90                   | 21   |
| ( autres                                                                               | 6 761         |      | 3,10                   |      |
| TOTAL                                                                                  | 19 255        |      | 3,60                   |      |

Source : CEREN, ouvrage cité.

#### 1.4. Conclusions

On est tenté de résumer l'inventaire ci-dessus en tirant deux conclusions qui confirment toutes deux le rôle important joué par les sources d'énergie primaire nationales dans la localisation de l'industrie.

Il ressort tout d'abord que les régions qui concentrent les plus grosses consommations d'énergie sont celles dont l'industrie s'est développée autour d'un gisement primaire (ou d'un point d'importation de pétrole) et a utilisé presque exclusivement cette forme d'énergie. La région Ile-de-France fait exception : le développement industriel y est beaucoup plus dû à la concentration des moyens de communication et des centres de décision. Pour les sept autres premières régions industrielles, on constate, et c'est la deuxième conclusion, que les consommations par salarié toutes formes d'énergie confondues sont les plus élevées. La polarisation des zones de développement industriel s'est donc effectuée en une double concentration : concentration des activités autour des sources d'énergie primaire et concentration des industries les plus consommatrices.

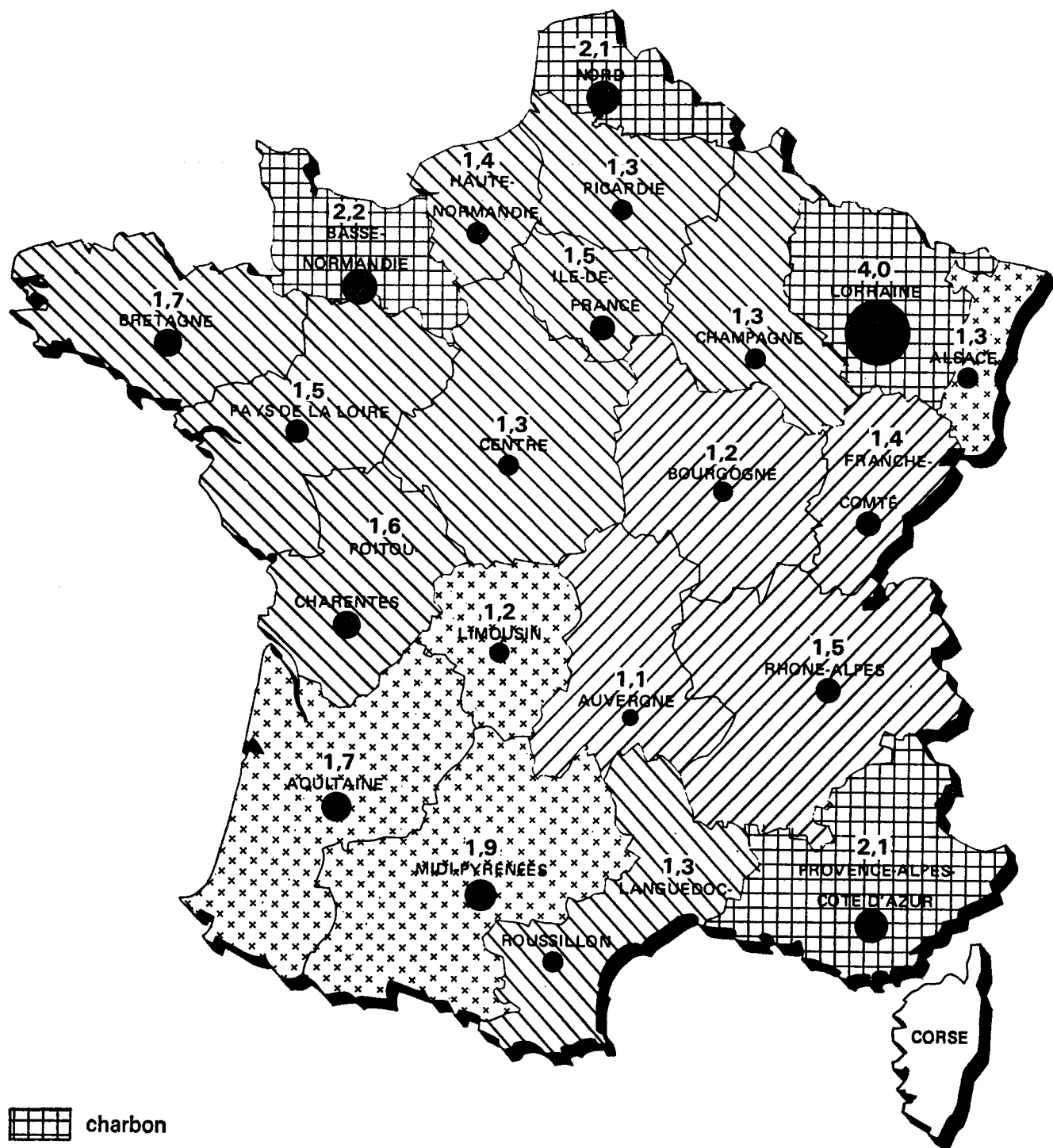
Le tableau suivant résume ces conclusions.

|                            | Cons. totale<br>dans l'ind.<br>en ktep | Rang | Cons./salarié<br>en tep/sal. | Rang | Spécificité<br>de la consommation<br>d'énergie |
|----------------------------|----------------------------------------|------|------------------------------|------|------------------------------------------------|
| Lorraine                   | 9 098                                  | 1    | 31,7                         | 1    | Charbon                                        |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | 4 386                                  | 5    | 20,6                         | 2    | Charbon, électr., pétrole                      |
| Nord                       | 8 560                                  | 2    | 18,2                         | 3    | Charbon,                                       |
| Midi-Pyrénées              | 2 774                                  | 6    | 17,8                         | 4    | Gaz, électricité                               |
| Languedoc                  | 1 176                                  | 15   | 15,0                         | 5    | Electricité, pétrole                           |
| Aquitaine                  | 2 554                                  | 8    | 14,3                         | 6    | Gaz                                            |
| Haute-Normandie            | 2 650                                  | 7    | 12,6                         | 7    | Pétrole                                        |
| Rhône-Alpes                | 7 076                                  | 3    | 11,5                         | 8    | Electricité                                    |
| <b>Autres régions :</b>    |                                        |      |                              |      |                                                |
| Alsace                     | 2 180                                  | 10   | 11,1                         | 9    | Gaz                                            |
| Picardie                   | 2 454                                  | 9    | 10,9                         | 10   | Pétrole                                        |
| Champagne                  | 1 578                                  | 12   | 9,1                          | 11   | Pétrole                                        |
| Poitou-Charentes           | 994                                    | 18   | 8,1                          | 12   | Pétrole, électricité                           |
| Basse-Normandie            | 1 040                                  | 17   | 8,0                          | 13   | Charbon                                        |
| Franche-Comté              | 1 216                                  | 14   | 7,0                          | 14   | Electricité                                    |
| Bourgogne                  | 1 107                                  | 16   | 6,6                          | 15   | Electricité, gaz, pétrole                      |
| Auvergne                   | 858                                    | 20   | 6,4                          | 16   | Electricité, pétrole                           |
| Bretagne                   | 962                                    | 19   | 6,0                          | 17   | Pétrole, électricité                           |
| Limousin                   | 378                                    | 21   | 6,0                          | 18   | Gaz, pétrole, électricité                      |
| Pays de la Loire           | 1 618                                  | 11   | 5,8                          | 19   | Pétrole, électricité                           |
| Centre                     | 1 247                                  | 13   | 5,2                          | 20   | Pétrole, électricité                           |
| Ile-de-France              | 4 404                                  | 4    | 3,8                          | 21   | Pétrole                                        |
| <b>TOTAL</b>               | <b>58 310</b>                          |      | <b>10,7</b>                  |      |                                                |



# LES SPÉCIFICITÉS DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DE L'INDUSTRIE PAR FORME D'ÉNERGIE EN 1977

Indice de spécificité de la forme d'énergie dominante (part dans la consommation de la région/  
part dans la consommation nationale)



-  charbon
-  gaz
-  électricité
-  produits pétroliers

## 2. Le développement de la production d'énergie transformée : une meilleure répartition sur le territoire

### 2.1. 1960-1973 : le recul de la production primaire française

De 1960 à 1973, la consommation totale d'énergie est passée de 86 à 175 millions de tonnes d'équivalent pétrole, soit plus qu'un doublement. Cette évolution a suivi un rythme de croissance voisin de celui de l'économie.

**EVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ENERGIE PRIMAIRE DE 1960 à 1978**  
(en millions de tep)

|             | 1960 | 1973 | 1978 |
|-------------|------|------|------|
| Charbon     | 38,9 | 19,4 | 15,9 |
| Pétrole     | 2,2  | 2,0  | 2,0  |
| Gaz naturel | 2,9  | 7,0  | 7,3  |
| Nucléaire   | —    | 2,7  | 6,4  |
| Hydraulique | 9,0  | 10,6 | 15,0 |
| TOTAL       | 53,0 | 41,8 | 46,6 |

Source : Ministère de l'Industrie - Le chiffres-clés de l'énergie 1979.

Dans le même temps, la production primaire française a suivi une évolution inverse, passant de 53 à 42 millions de tonnes d'équivalent pétrole, essentiellement à cause de la réduction de la production charbonnière. Le taux de dépendance énergétique a très fortement augmenté : 38 % en 1960, 76 % en 1973. L'augmentation énorme des importations pétrolières (31 millions de tonnes en 1960, 135 en 1973) en est la manifestation la plus apparente. La structure de la consommation par forme d'énergie s'est modifiée en conséquence : les formes d'énergie primaire ont maintenant une place réduite dans la consommation, qui s'est reportée sur les énergies transformées (produits pétroliers raffinés, gaz de coke ou de pétrole, électricité thermique). D'importants réseaux ont été mis en place pour assurer le transport de ces énergies et leur répartition sur le territoire.

Le développement de ces réseaux a certainement permis une homogénéisation des conditions d'approvisionnement sur le territoire. Les modulations régionales des tarifs ont pu être réduites parallèlement à la réduction des coûts de transports dans les réseaux. L'interconnexion des unités de production et de consommation a limité les risques de rupture d'approvisionnement et a permis un foisonnement important des consommations.

### 2.2. L'électricité thermique classique et nucléaire

Le développement le plus considérable a été celui de l'électricité et de ses réseaux.

**EVOLUTION DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE**  
(milliards de kWh)

|                     | 1960 | 1973  | 1978  |
|---------------------|------|-------|-------|
| Hydraulique         | 40,5 | 47,5  | 67,8  |
| Thermique classique | 31,7 | 115,1 | 119,9 |
| Thermique nucléaire | 0,1  | 11,9  | 28,8  |
| Production totale   | 72,3 | 174,5 | 216,3 |

La production hydro-électrique, qui représentait 56 % de la production électrique totale en 1960, ne compte plus que pour 27 % en 1973 et remonte légèrement à 31 % en 1978. Quelles ont été les conséquences de ce double bouleversement énergétique : forte pénétration de l'électricité et développement des réseaux d'une part, réduction du poids de l'hydro-électricité, énergie géographiquement localisée sur le territoire ?

Il est encore difficile de cerner avec précision des effets qui n'ont encore modifié qu'à la marge la répartition des activités et des consommations sur le territoire. On a vu plus haut, cependant, que la dispersion des consommations par salarié dans l'industrie pour les différentes régions est plus réduite pour l'électricité :

- de 1,2 tep/salarié en Ile-de-France à 7,9 tep/salarié en Midi-Pyrénées pour l'électricité ;
- de 0,55 tep/salarié en Ile-de-France à 6,60 tep/salarié en Midi-Pyrénées pour le gaz ;
- de 0,03 tep/salarié en Bretagne à 14,3 tep/salarié en Lorraine pour le charbon.

On verra d'autre part, dans l'étude de l'IEJE, que l'incidence de politiques volontaristes de rééquilibrage régional se ferait plus sentir sur les consommations d'électricité des régions que sur les autres consommations. Ceci peut s'expliquer par une tendance à une plus grande possibilité de mobilité des industries utilisant l'électricité.

Il semble donc que l'on puisse conclure à une certaine homogénéisation du territoire à la suite du développement d'un système de production et de réseaux de distribution organisé nationalement et fortement interconnecté.

Plusieurs limites à cette homogénéisation doivent cependant être signalées.

### **3. Les limites à l'homogénéisation du territoire**

Elles sont de deux ordres : tarifaires d'une part, liées aux conditions de disponibilité de l'énergie d'autre part.

Des modulations régionales de tarifs de l'énergie existent encore, en effet, même si elles ont été réduites. La tarification de l'électricité en basse et moyenne tension est uniforme sur tout le territoire (dans certains cas, cependant : électrification rurale, création d'une antenne, une part des investissements est à la charge des utilisateurs) ; en haute tension,

le prix de l'électricité inclut le coût de transport (pertes en lignes et coûts des réseaux) : les modulations peuvent atteindre 5 % entre la zone la plus chère et la zone la moins chère.

Les différences régionales sont encore plus importantes pour le gaz et les produits pétroliers.

Mais c'est peut-être plus, dans certains cas, les conditions de disponibilité de l'énergie qui peuvent jouer un rôle de frein dans le développement économique. Certaines régions ont un déficit très important en moyens de production d'électricité. Il en résulte non seulement des tarifs plus élevés, mais des baisses de charge et des ruptures temporaires d'approvisionnement qui peuvent être dissuasives. Mais surtout, il peut être exclu de développer une industrie lourde dans certaines régions particulièrement sous-équipées en centrales et en réseaux haute tension. On voit bien là un effet d'inégalité régionale pénalisant les régions restées à l'écart du développement industriel et énergétique. On constate en effet que les centrales thermiques sont principalement localisées dans les zones de forte consommation (Ile-de-France, région lyonnaise) ou à proximité des ressources primaires charbonnières ou des points d'importation du pétrole et du charbon. Ces régions bénéficiaient déjà, on l'a vu plus haut, des conditions favorables pour un développement industriel important. La mobilité des centrales nucléaires pourrait être plus grande en raison des caractéristiques du combustible. On constate cependant qu'elles ont d'abord été localisées à proximité des grands centres de consommation où les besoins actuels étaient importants. Des contraintes d'ordre technique (refroidissement) et politique jouent également un rôle déterminant dans la localisation et limitent ainsi les possibilités de répartition bien équilibrée.

## **II. LES NOUVELLES DONNEES ENERGETIQUES**

Après avoir examiné la forte influence polarisatrice des ressources énergétiques primaires traditionnelles et les profondes mutations qui sont en cours, il convient de s'interroger sur les effets des nouvelles formes d'énergie sur la localisation des activités et le développement des régions.

### **1. Les perspectives énergétiques mondiales**

Au niveau mondial, la consommation totale d'énergie devrait passer de 5 900 millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep) en 1975 à 15 000 Mtep en 2000. Ce dernier chiffre est sensiblement inférieur aux prévisions développées avant 1974 (19 000 - 22 000 Mtep en 2000).

L'ordre de grandeur des ressources potentielles mondiales est énorme ; celui des ressources en énergies nouvelles dépasse largement le volume des réserves d'énergie fossile ou d'uranium pour les centrales nucléaires classiques. Mais les difficultés techniques sont loin d'être résolues et les coûts de production restent largement supérieurs à ceux d'extraction des réserves actuelles. En attendant la relève par ces nouvelles formes

d'énergie, de nombreuses incertitudes restent sur l'approvisionnement. Les énergies non renouvelables sont caractérisées par une très inégale répartition. Si leur volume semble globalement suffisant à moyen terme (la consommation mondiale cumulée de 1975 à 2000 s'élèverait à 250 000 Mtep), des incertitudes politiques et financières risquent de perturber profondément l'approvisionnement.

Il semble en tout cas qu'une stabilisation de la consommation mondiale de pétrole soit réalisée à partir de 1990 autour de 4 300 Mtep/an, tandis que la consommation de gaz continuera à augmenter légèrement de 1 600 Mtep/an en 1985 à 2 700 Mtep/an en 2000. Les croissances de consommation les plus fortes seront celles du charbon (4 700 Mtep/an en 2000), de l'hydraulique (900 Mtep/an) et surtout du nucléaire (2 100 Mtep/an) et des énergies nouvelles (300 Mtep/an).

#### EVOLUTION DE LA STRUCTURE DES APPROVISIONNEMENTS

| (en Gtep)          | 1975         |             | 1985         |             | 1990         |             | 2000         |             |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|                    | Monde occid. | Total monde | Monde occid. | Total monde | Monde occid. | Total monde | Monde occid. | Total monde |
| Charbon            | 0,88         | 1,8         | 1,15         | 2,35        | 1,5          | 2,9         | 2,2          | 4,7         |
| Pétrole            | 2,09         | 2,57        | 3,0          | 4,0         | 3,3          | 4,4         | 3,2          | 4,3         |
| Gaz naturel        | 0,80         | 1,12        | 1,05         | 1,6         | 1,1          | 1,9         | 1,5          | 2,7         |
| Nucléaire          | 0,08         | 0,09        | 0,4          | 0,45        | 0,7          | 0,8         | 1,8          | 2,1         |
| Hydraulique        | 0,29         | 0,32        | 0,4          | 0,5         | 0,5          | 0,65        | 0,7          | 0,9         |
| Energies nouvelles | —            | —           | —            | —           | —            | 0,05        | 0,2          | 0,3         |
| <b>TOTAL</b>       | <b>4,14</b>  | <b>5,90</b> | <b>6,0</b>   | <b>8,9</b>  | <b>7,1</b>   | <b>10,7</b> | <b>9,6</b>   | <b>15,0</b> |

Source : Commission de l'énergie du VII<sup>e</sup> Plan - Perspectives énergétiques françaises 1979.

## 2. Les conversions énergétiques en France

Nous avons constaté la décroissance de la production nationale d'énergie fossile. Les gisements de charbon sont très morcelés et difficiles à exploiter mécaniquement. De nouvelles techniques d'exploitation (notamment gazéification in situ) sont à mettre au point pour conserver une activité productrice aux gisements français. Les réserves de gaz seront bientôt épuisées et la recherche de gisements pétroliers n'a donné que peu de résultats.

De nouvelles sources devront être développées ou importées pour répondre à la croissance de la demande. Ce sont, on l'a vu, les importations de pétrole et le développement du nucléaire, mais aussi les importations de gaz et de charbon et les énergies nouvelles.

Le tableau suivant reprend les dernières prévisions de la Commission de l'énergie du VIII<sup>e</sup> Plan, avec une croissance estimée à 4 % par an.

| Mtep                            | 1978         | 1985             |
|---------------------------------|--------------|------------------|
| <b>Demande d'énergie</b>        | <b>182,3</b> | <b>215 à 231</b> |
| <b>Couverture de la demande</b> |              |                  |
| <b>PRODUCTION NATIONALE</b>     | <b>46,6</b>  | <b>76 - 79</b>   |
| hydro-électricité               | 15,0         | 14 - 15          |
| électricité nucléaire           | 6,4          | 43               |
| pétrole national                | 2,0          | 2 - 3            |
| gaz national                    | 7,3          | 5                |
| charbon national                | 15,9         | 9 - 10           |
| énergies renouvelables          | *            | 3 *              |
| <b>SOLDE A SATISFAIRE</b>       |              |                  |
| pétrole                         | 104,8        | 136 à 155        |
| gaz importé                     | 13,6         | 100              |
| charbon importé                 | 16,3         | maximum 30       |
| électricité importée            | 1,0          | maximum 20 - 25  |

\* On estime à 3 Mtep la contribution des énergies renouvelables au bilan énergétique de 1978. Ces chiffres correspondant essentiellement à la consommation de bois de chauffage ne sont pas intégrés aux bilans.

### III. LES SCENARIOS D'OFFRE ET DE DEMANDE D'ENERGIE PAR GRANDE REGION

C'est dans ce contexte de mutation énergétique profonde que la construction de bilans énergétiques offre-demande d'énergie par grande région est apparue nécessaire.

Quelle sera l'évolution de la répartition spatiale des consommations d'énergie ?

Quelle pourrait être, dans le moyen et le long terme, la contribution des diverses régions à leur approvisionnement énergétique et à celui du pays ?

Comment des politiques régionales peuvent-elles infléchir, voire changer profondément les niveaux de l'offre et de la demande d'énergie ?

Telles étaient les questions directrices de cette approche prospective régionale des problèmes énergétiques.

Pour répondre à ces questions, nous avons choisi l'utilisation de scénarios socio-économiques régionalisés contrastés : il s'agissait donc, non pas tant de faire des prévisions ni de couvrir toute l'étendue des possibles, mais de décrire avec précision trois configurations contrastées de la demande d'énergie et des modes d'approvisionnement par grandes régions en 1985 et 2000.

Le premier scénario correspond à une France totalement ouverte aux courants internationaux financiers et commerciaux (notamment énergétiques). Il suppose vers 1985 une « sortie de crise » et une forte reprise de la croissance.

Le deuxième scénario exprime le retour à une logique de développement sauvegardant les secteurs stratégiques, même s'ils ne sont pas compétitifs sur le plan international, et s'efforçant de limiter les effets les plus nocifs de la tendance à la polarisation des activités dans les zones privilégiées.

Le troisième est un scénario de « nouvelle croissance », réduite par rapport aux deux autres scénarios et orientée vers une autonomie du pays et des régions aussi grande que leurs ressources le leur permettent.

Une question délicate a été d'associer des hypothèses énergétiques aux scénarios socio-économiques de base. Le choix de ces hypothèses contient une part d'arbitraire. L'évolution du prix mondial de l'énergie, supposée différente dans les trois scénarios, redonne cependant cohérence à l'orientation des politiques énergétiques développées dans chacun d'eux. Les résultats de cette prospective énergétique régionale sont chiffrés, sous la forme de bilans énergétiques avec un découpage en neuf grandes régions. La réalisation de scénarios chiffrés est délicate, périlleuse sans doute, car l'image finale apparaît toujours trop radicale. Le cheminement et la méthodologie doivent tout autant retenir l'attention que le résultat. L'IEJE a ainsi été conduit à examiner successivement les deux volets d'un bilan énergétique, la demande d'énergie et l'approvisionnement, bien que l'impératif d'équilibre par forme d'énergie produite et consommée rende ces deux notions tout à fait interdépendantes.

*En ce qui concerne la demande d'énergie*, les auteurs font ressortir les liaisons complexes qui existent entre le niveau d'activité économique et la consommation d'énergie. Au-delà du taux de croissance économique qui est bien entendu déterminant, c'est le taux de croissance de la production industrielle du pays et des différentes régions qui s'avère un indicateur important de l'évolution de la demande d'énergie. En effet, deux faits remarquables apparaissent dans cette étude : l'industrie, dont la part dans la consommation d'énergie avait fortement décru depuis 1958, se stabilise jusqu'en 1985 et redevient, surtout dans les scénarios de relance nationale et de nouvelle croissance, le secteur de loin le plus consommateur. L'évolution inverse est constatée en ce qui concerne les consommations des secteurs résidentiels et tertiaires. En raison d'une certaine saturation des consommations des ménages, la croissance de la population n'entre que pour une faible part dans l'augmentation de la consommation d'une région.

Enfin, les économies d'énergie jouent un rôle fondamental d'infléchissement de la consommation. Encore faut-il remarquer que les économies se réalisent plus facilement à la marge (sur les nouvelles activités ou les nouveaux logements) que sur les installations existantes. On verra que cette constatation conduit à réduire sensiblement, par rapport aux autres régions, la croissance énergétique des régions bénéficiant de priorités de développement régional. La comparaison des évolutions des consommations d'énergie de chaque grande région amène en effet à distinguer nettement les régions de l'Ouest, du Sud-Ouest et du Massif Central. Pour ces régions, les chemins d'évolution de la consommation sont très proches quel que soit le scénario, alors que les contrastes sont très accentués pour les autres régions. Ceci résulte des hypothèses énergétiques et socio-économiques dont les effets se compensent dans ces trois régions : on a ainsi soit un effort de développement industriel avec une politique d'économie d'énergie, soit un plus faible développement relatif mais sans effort soutenu d'économie d'énergie. Inversement, une polarisation industrielle renforcée s'accompagne d'un prélèvement de plus en plus grand des régions favorisées dans la consommation nationale. Ce sont généralement, on l'a vu plus haut, ces régions qui ont bénéficié de la proximité de sources d'énergie primaire : ce sont également ces régions qui sont actuellement excédentaires en énergie électrique, mais dont la croissance des besoins est la plus forte en valeur absolue.

*La question de l'approvisionnement* — et de l'anticipation nécessaire dans la programmation des équipements de production d'énergie — se pose ainsi de façon cruciale. Y a-t-il des critères d'aménagement du



territoire qui doivent guider le développement de l'offre d'énergie dans les régions ? La croissance économique engendre la croissance de la consommation et appelle celle de l'offre ; la croissance de l'offre d'énergie permet (et induit ?) la croissance économique d'une région.

Il convient de distinguer deux catégories dans l'approvisionnement en énergie d'une région. La première regroupe ce qui a été appelé « ressources locales ». Il s'agit des ressources primaires de la région, conventionnelles ou nouvelles, dont la production est liée à l'existence d'un gisement naturel, localisé sur le territoire, et de ressources résultant de meilleures adéquations ponctuelles ressources-usages.

La deuxième catégorie comprend d'une part les énergies importées, d'autre part l'énergie électrique produite dans les centrales raccordées à un réseau et dont l'implantation n'est pas déterminée par l'origine de l'énergie primaire. La raison de ce découpage est de cerner aussi précisément que possible la part de la consommation de chaque grande région qui peut être assurée par ses propres ressources. Le soubassement institutionnel de ce découpage est que la mise en valeur des « ressources locales » ainsi qu'elles ont été définies peut généralement être décidée et conduite régionalement ou localement, alors que les orientations concernant les « énergies nationales ou importées » restent principalement du domaine des grandes entreprises nationales.

Deux conclusions ressortent principalement sur les énergies locales. Globalement, l'approvisionnement en énergie locale reste limité (de 8 % à 23 % de la consommation selon les scénarios). Le développement des énergies nouvelles et des productions locales d'électricité parvient à peine à équilibrer la réduction de la production des gisements d'énergie fossile. Cependant, la répartition de ces énergies locales dans les régions est, dans le troisième scénario, nettement plus homogène qu'en 1975 où les trois quarts des énergies locales (pour l'essentiel les combustibles fossiles) étaient produites dans seulement trois régions. Cette meilleure répartition est due au développement de l'électricité locale et des énergies nouvelles. Ce sont les régions urbaines et industrielles d'une part (notamment la région parisienne), les régions de montagne d'autre part qui voient augmenter leur production d'électricité locale.

Pour ce qui est des énergies nouvelles, et c'est là la deuxième conclusion, il apparaît que chaque région dispose d'un atout qui mérite d'être joué : toutes les régions peuvent atteindre de l'ordre du dixième du potentiel national. Les régions agricoles ont cependant une vocation particulière dans la valorisation de la biomasse (Bassin Parisien, Ouest et Sud-Ouest surtout, ainsi que les régions forestières). Il semble donc qu'il puisse y avoir un enjeu d'aménagement du territoire dans le développement de ces nouvelles énergies primaires que sont les énergies nouvelles. Peut-on atteindre un effet important sur le développement économique des régions ? Il y a là une question à laquelle l'étude ne répond pas et qu'il faudrait examiner.

Néanmoins pour l'ensemble des régions, l'approvisionnement en énergie locale reste largement insuffisant pour satisfaire l'ensemble des besoins. Il faut faciliter le développement des énergies locales notamment dans les usages qu'elles peuvent satisfaire à un prix raisonnable. Mais il faut également compter sur un approvisionnement en combustibles fossiles (importés pour l'essentiel) et en électricité thermique classique et nucléaire. Un rééquilibrage semble possible pour la production d'électricité dans les régions. Il ne s'agit pas pour autant de rechercher « une autonomie énergétique » des régions mais de limiter l'extension des réseaux favorables à l'alimentation et surtout d'assurer des conditions favorables à un développement économique mieux réparti sur le territoire.

L'énergie n'est qu'un élément de développement régional parmi beaucoup d'autres. C'est cependant un facteur à la fois permissif et inductif

qui prend une importance toute particulière dans les circonstances actuelles. La limitation de notre dépendance à l'égard des importations d'énergie nous conduit à renforcer considérablement notre potentiel de production nationale. Il y a là sans doute une possibilité de réduction des disparités régionales par une meilleure répartition des ressources sur le territoire.

**Damien Borot**  
**Chargé de Mission au**  
**SESAME**

# **ÉNERGIE ET RÉGIONS**

## **variantes régionalisées de demande et d'offre d'énergie en France (1985-2000)**

Cette étude a été réalisée par  
l'Institut Economique et Juridique de l'Energie (I E J E)

Jean-Pierre BONAÏTI  
Ingénieur CNRS

Bernard BOURGEOIS  
Chargé de recherches  
CNRS

Jacques GIROD  
Chargé de recherches  
CNRS

# Introduction

## Évolution des interrogations sur les liaisons énergie-espace

Pour situer les questions auxquelles la présente étude se propose de répondre, il paraît opportun, au préalable, de faire un bref rappel historique des problèmes qui ont été soulevés, lors de ces vingt dernières années, quant aux rapports existant entre système énergétique et aménagement de l'espace. On peut repérer quatre étapes, amenant chacune à soulever une catégorie de questions : ces questions reflètent très naturellement et très logiquement l'évolution des faits dans l'histoire énergétique contemporaine.

### I. QUEL RÔLE LE PRIX DE L'ÉNERGIE JOUE-T-IL DANS LE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL ?

Jusqu'au début des années soixante, avant la pléthore pétrolière, l'énergie est encore un bien rare ; parallèlement, on observe que la reconstruction économique et industrielle ne s'effectue pas sur l'ensemble du territoire de manière homogène : le problème des disparités régionales est posé ; pour y faire face, les responsables du Plan se proposent de tenir compte, dans la définition des objectifs globaux, d'une politique d'aménagement du territoire (1) visant notamment au rééquilibrage de la croissance entre l'Est et l'Ouest de la France. Parmi les différents moyens étudiés pour inciter l'industrie à ce rééquilibrage figure la différenciation régionale des prix de l'énergie. Mais cette problématique suppose que l'on reconnaisse au prix de l'énergie un certain rôle dans le développement national ou régional.

---

(1) Dans les faits, pas avant 1962 (IV<sup>e</sup> Plan).

**TABEAU 1**  
**POURCENTAGE DES DEPENSES ENERGETIQUES**  
**DANS LA VALEUR DE LA PRODUCTION DES BRANCHES EN 1973 ET 1977**  
(classement par ordre décroissant hors branches énergétiques TO<sub>4</sub>, TO<sub>5</sub>, TO<sub>6</sub>)

|                                      | dépenses<br>énergétiques              | dépenses<br>énergétiques              | valeur<br>ajoutée de<br>la branche | emplois de<br>la branche     |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
|                                      | valeur de la<br>production<br>en 1973 | valeur de la<br>production<br>en 1977 | PIB<br>en 1977                     | emplois<br>totaux<br>en 1977 |
| 07 Minerais et métaux<br>ferreux     | 11,13                                 | 15,14                                 | 0,97                               | 0,92                         |
| 09 Matériaux de<br>construction      | 9,4                                   | 11,44                                 | 0,94                               | 1,01                         |
| 11 Chimie de base                    | 8,75                                  | 9,85                                  | 1,4                                | 0,85                         |
| 31 Transports                        | 6,97                                  | 9,14                                  | 3,75                               | 4,03                         |
| 10 Verre                             | 6,69                                  | 8,9                                   | 0,36                               | 0,33                         |
| 08 Minerais et métaux<br>non ferreux | 7,43                                  | 8,4                                   | 0,41                               | 0,35                         |
| 12 Para-chimie - Pharmacie           | 4,63                                  | 6,7                                   | 0,84                               | 0,73                         |
| Autres branches (moins de 6 %)       |                                       |                                       |                                    |                              |
| Moyenne nationale                    | 4,06                                  | 5,9                                   |                                    |                              |

*SOURCE : calculs effectués d'après les tableaux entrées-sorties de la comptabilité économique nationale. Prix courants - Année 1977 : provisoire - Année 1973 : définitif. Collections de l'INSEE C 62-63/1978.*

**NOTE.** — En 1977, les dépenses énergétiques représentaient moins de 5 % de la valeur de la production dans les 26 branches non présentées dans le tableau ci-dessus (hors les 3 branches énergétiques). Ces branches représentaient près de 79 % du Produit Intérieur brut, et un peu plus de 90 % des emplois.

Les conclusions apparemment surprenantes de la faible augmentation en moyenne du poids en pourcentage des dépenses énergétiques dans la PIB (c'est-à-dire les achats aux branches charbon-pétrole-électricité-gaz) entre 1973 et 1977 (respectivement 4,06 et 5,9 %), doivent être complétées par l'observation suivante : du 1<sup>er</sup> janvier 1973 au 1<sup>er</sup> janvier 1978, les prix de la PIB ont augmenté de 67 % et une partie de cette inflation résulte de l'augmentation des prix de l'énergie.

Sur ce point, et en supposant aucune contrainte particulière sur les aspects de disponibilité ou d'accessibilité, les conclusions des différents spécialistes (1) convergent. Sauf exception, pour un certain nombre de branches grosses consommatrices d'énergie, les prix de l'énergie ne représentent qu'une faible part du coût de production (moins de 5 %, voir encadré) et donc n'apparaissent pas comme étant directement un facteur important de localisation. Par contre, l'effet des prix de l'énergie est sensible principalement dans les industries des biens intermédiaires : la question est alors de savoir si ces branches exercent, de par leur caractéristique et leur place dans la hiérarchie des relations inter-industrielles, des « effets d'entraînement » particuliers sur le reste de l'industrie. Ici, les divergences apparaissent entre d'une part les tenants de la croissance polarisée qui reconnaissent à ces industries des biens intermédiaires un dynamisme particulier dans l'industrialisation, et d'autre part les tenants

(1) Y. Mainguy : « La valeur instrumentale au point de vue de l'aménagement du territoire d'actions de longue durée sur les prix de l'énergie, des transports et de main-d'œuvre ». Travaux du sous-groupe Energie, Ministère de la Construction, Direction de l'aménagement du territoire, 1960-1961 ; et CEE « L'influence économique du prix de l'énergie » - Série Economique et Finances - CEE - Bruxelles, 1966.

de la croissance diffusée déniait à ces mêmes branches un rôle moteur spécifique dans le développement économique. Ces questions perdent progressivement de leur acuité, avec, dans la décennie soixante, l'arrivée du pétrole bon-marché et la baisse des coûts de transport-distribution.

Les politiques de l'énergie perdent alors toute dimension spatiale, car les écarts régionaux de prix ne cessent de diminuer ainsi que le poids de l'énergie dans les prix de revient.

## **II. COMMENT MAITRISER LES CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT DU DEVELOPPEMENT RAPIDE DES INSTALLATIONS ENERGETIQUES ?**

La décennie soixante a été surtout celle d'une croissance économique accélérée (1) s'appuyant sur des bas prix de l'énergie. Du fait de la diminution des coûts de mise à disposition de l'énergie et d'une croissance de la consommation énergétique pratiquement parallèle à celle du produit intérieur brut, des conditions favorables à la concentration de la production de l'énergie sont réunies.

Ce qui n'était que virtualité se transforme en tendance permanente, avec un progrès technique orienté vers la baisse des coûts, d'abord par l'accroissement des tailles et le jeu des économies d'échelle. Cette concentration croissante de la production énergétique, mais aussi de la consommation, suivant en cela l'inégal développement économique du territoire national, peut générer une accentuation de la concentration des rejets de polluants liquides, gazeux et solides dans l'environnement. L'émergence progressive de nouvelles valeurs accélère la prise de conscience de l'existence de coûts sociaux, notamment en termes de dégradation de l'environnement, qui accompagnent ce type de développement.

Le début des années 1970 est ainsi marqué par la publication de très nombreux travaux sur les thèmes de l'énergie et de l'environnement ; en France, les travaux de la commission Gruson constituent une référence indispensable (2). L'une des conséquences de ces nouvelles préoccupations est de réintroduire la notion d'espace banal dans les plans de production énergétique : la prise en compte de ces nouvelles contraintes s'accompagne logiquement de coûts supplémentaires.

A ces deux types d'interrogations vont s'ajouter plutôt que s'y substituer (3) de nouveaux problèmes liés à des changements majeurs dans l'évolution des faits énergétiques.

Après la récupération de la souveraineté des pays producteurs de pétrole sur leurs gisements et la première augmentation des prix du brut en octobre 1973, de nombreux pays, dont la France, qui avaient laissé leur approvisionnement énergétique dépendre de plus en plus largement des hydrocarbures importés, doivent faire face à une augmentation soudaine de leurs coûts d'approvisionnement énergétique, voire à une menace de rupture de ces importations.

Les politiques énergétiques tentent alors d'agir sur la demande et l'offre d'énergie : la dimension spatiale peut intervenir à ces deux niveaux.

(1) Phénomène historique anormal au regard des trends de longue durée.

(2) « Rapport sur les relations entre le secteur de l'énergie et l'environnement dans une perspective à long terme ». Paris, Berger-Levrault, 1974, 572 pages.

(3) Car les problèmes d'impact environnementaux des chaînes énergétiques n'ont pas disparu ; par ailleurs, avec la poursuite de la crise économique, la question de l'impact régional des augmentations de prix de l'énergie est d'actualité pour les régions dépendant de branches sensibles aux fluctuations énergétiques. Cf. par exemple pour les USA le livre de W.M. Miernyk, F. Giarratini et C.G. Socher : « Regional Impacts of rising energy prices », 138 p., Ed. Ballinger Publishing Co., Cambridge, Mass., 1978.

### **III. QUELLE PEUT ETRE L'INFLUENCE DE L'ALLOCATION SPATIALE DES ACTIVITES SUR LES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES ?**

Pour réduire les consommations énergétiques, une gamme très ouverte de solutions existe selon le niveau d'économies d'énergie recherché ; la mise en œuvre de ces solutions s'accompagne parallèlement de changements plus ou moins importants dans les techniques utilisées, les habitudes de consommations et les modes de vie.

L'une d'entre elles consiste à considérer l'allocation spatiale des activités comme une variable déterminant, pour une grande part, les niveaux de consommation d'énergie.

Selon cette approche, la gestion de l'espace deviendrait un moyen pour une communauté de mettre en rapport ses choix d'implantation de bâtiments, d'industries, etc., avec sa consommation d'énergie. Aux Etats-Unis, par exemple, un programme ambitieux de recherche (1) se donne comme objectif de modéliser les interactions entre développement régional, utilisation du sol, demande énergétique et approvisionnement énergétique local et national.

En France, les préoccupations semblent plutôt s'orienter vers la recherche des configurations des villes à bas profil énergétique (2).

Mais outre des problèmes méthodologiques pour identifier l'influence particulière de telle ou telle caractéristique urbaine sur la consommation énergétique, notamment celle due aux transports, le manque de références statistiques suffisamment précises ne permet pas encore de tirer des conclusions générales à partir de résultats ponctuels.

### **IV. QUEL PEUT ETRE L'APPORT DES ENERGIES LOCALES DANS LES DIFFERENTS TYPES D'ESPACES ?**

Ici, les interrogations portent sur l'offre énergétique potentielle des différents types d'espace. Avec l'augmentation des prix de l'énergie la préférence pour l'importation de l'énergie devient partiellement caduque car la dépendance n'est pas toujours contrebalancée par un bas prix et une plus grande sécurité d'approvisionnement.

Dans les scénarios — puisque les réalisations en sont encore à un niveau de balbutiements — de recours important aux énergies locales, une hypothèse est faite qu'en termes de coûts, aussi bien pour l'utilisateur que pour la collectivité, il est intéressant que chaque espace de consommation énergétique assure la couverture — dans des modalités variables selon les caractéristiques de ces espaces — d'au moins une partie de ses besoins à partir de sources énergétiques renouvelables et en général diffuses. Dans cette perspective, les réseaux énergétiques centralisés conservent de par leurs caractéristiques intrinsèques un certain nombre de fonctions irremplaçables, notamment pour la fourniture d'énergie concentrée aux très gros consommateurs, la compensation des aléas et la réserve d'énergie d'appoint.

Ces perspectives rejoignent aussi les aspirations à une plus grande décentralisation des pouvoirs, et dans certains cas la recherche de facteurs de développement pour maintenir ou promouvoir une activité dans des zones en régression ou à l'écart des grands pôles économiques.

(1) T. Owen Carroll, Andrew S. Kydes, Sonathan B. Samborn, R. Nathan et P.F. Palmado : « A system view of energy and land use », IEE Transactions on systems, vol. SMC 7, n° 4, avril 1977, p. 256 à 264.

(2) On peut citer à ce sujet les travaux du CRU sur l'énergie urbaine dont la problématique est résumée par H. Mathieu dans une communication à l'Académie d'Architecture le 8 février 1979 : « Ville et énergie - l'art d'aménager l'espace : une réponse aux pénuries futures ».

## **Chapitre I**

---

# **LE CADRE DE L'ÉTUDE ET LA DÉMARCHE SUIVIE**

---



# Introduction

Chaque région semble aujourd'hui, face à la situation énergétique internationale, plus soucieuse que par le passé de préciser sa contribution au plan énergétique.

A) Quel pourrait être, dans le moyen et long terme, l'apport spécifique des régions à leur propre approvisionnement énergétique et à celui de la nation ?

Quelle pourra être alors l'évolution de la répartition spatiale des consommations d'énergie ?

Comment des politiques régionales pourront-elles infléchir, ou même modifier profondément les processus qui déterminent l'offre et la demande d'énergie ?

La présente étude n'a pas pour ambition d'apporter des réponses immédiatement opératoires à ces questions. Elle espère plutôt proposer les premiers éléments d'une approche régionale des problèmes énergétiques à partir d'images régionales contrastées de l'offre et de la demande à moyen et long terme.

B) Pour pouvoir être comparées entre elles et situées par rapport aux perspectives nationales, ces images doivent être quantifiées. La poursuite de cet objectif se heurte inéluctablement à un certain nombre d'obstacles et de limites.

En effet, cette confrontation offre-demande d'énergie au niveau régional s'effectue dans le cadre comptable de bilans énergétiques dont le principal avantage est d'offrir une synthèse de toutes les informations énergétiques utilisées.

Mais d'une part cette présentation n'est pas universelle puisqu'elle dépend du choix que l'on fera pour un certain nombre de conventions concernant les coefficients d'équivalence entre combustibles, électricité et énergies nouvelles ; d'autre part, si d'un point de vue comptable il y a bien par nécessité et dans chaque projection de bilan égalité entre offre et demande d'énergie, la manière dont l'offre s'adapte à la demande (et réciproquement) peut différer profondément selon le type d'orientation donnée aux projections. En d'autres termes, les modalités d'adéquation offre-demande d'énergie peuvent différer selon « l'intensité » du contraste introduit dans les projections.

Or, précisément, l'un des avènements possibles retenu dans cette étude met en jeu (scénario III) l'hypothèse d'une politique de décentralisation économique et énergétique avec recours maximum aux énergies locales.

Que signifie alors cette orientation décentralisatrice au regard du problème d'adéquation ?

Dans la mesure où l'on admet l'hypothèse selon laquelle (1) la contribution des combustibles nationaux fossiles (gaz naturel + charbon) devrait diminuer sensiblement d'ici l'an 2000 (2) force est d'admettre que la principale « source » d'énergies locales (3) réside alors dans le développement accru des énergies dites nouvelles.

Or, ces énergies nouvelles, renouvelables, telles que l'énergie solaire, la géothermie basse température ou les formes d'énergie issues de la biomasse sont souvent des énergies diffuses, à faible densité de puissance. Dans l'hypothèse d'un développement non marginal de ces formes d'énergie, leur emploi demeure subordonné à un certain nombre d'usages spécifiques, à basse température, et qui doivent leur être réservés en priorité. La satisfaction d'un éventail assez large d'usages énergétiques, que l'on caractérise notamment par des paramètres de puissance et des niveaux de température, implique donc de faire appel à des formes d'énergie complémentaire dans un système d'offre énergétique assez différencié : sauf exception, il n'existe pas, si l'on s'en tient à cette orientation en faveur des énergies nouvelles, de forme d'énergie susceptible de couvrir à elle seule une gamme importante d'usages énergétiques différenciés. Ainsi la mise en œuvre de cette orientation suppose une organisation du système énergétique différente de celle du système actuel, de telle sorte qu'une place non négligeable soit offerte aux systèmes locaux décentralisés à côté de celle des systèmes centralisés.

On voit donc que selon les orientations dominantes dans l'organisation de la société, non seulement les formes d'énergie utilisées diffèrent, mais aussi leur combinaison pour satisfaire les divers usages de la demande.

C) Ces bilans énergétiques contrastés sont présentés dans un cadre spatial et temporel défini dans la première partie de ce chapitre. Mais pour en arriver à ce résultat, il faut au préalable fixer l'évolution des variables déterminant l'offre et la demande d'énergie des régions.

En pratique, la représentation de cette évolution est rendue délicate par des incertitudes d'ordre technique, économique et social ; plus particulièrement la description des trajectoires suivies par les prix de l'énergie, par le développement des diverses régions, par la division du travail et les échanges internationaux ne peut être envisagé de façon autonome puisqu'elle renvoie à l'évolution de la société dans son ensemble ; d'où le recours à une démarche prospective — et donc non prévisionniste — fondée sur l'utilisation de scénarios exploratoires contrastés d'évolution de la société française à long terme. La deuxième partie de ce chapitre précisera le contenu des scénarios utilisés, d'abord scénarios sociétaux globaux, puis scénarios énergétiques.

## **I. LE CADRE TEMPOREL ET LE CADRE SPATIAL**

### **I. 1. LE CADRE TEMPOREL**

Le cadre temporel de l'étude est délimité par les deux années extrêmes de l'intervalle de prévision 1975-2000 et par l'année intermédiaire 1985. La situation énergétique des régions françaises en 1975 est utilisée comme référence pour projeter d'autres images pour les années 1985 et 2000.

(1) A moins de découvertes imprévues aujourd'hui de nouveaux gisements sur le territoire national d'ici l'an 2000.

(2) Diminution différenciée selon les scénarios, pour tenir compte notamment des différences de prix de l'énergie dans chacun d'entre eux.

(3) La notion d'« énergie locale » sera définie dans le chapitre III.

## 1975

Son choix comme année de référence relève de plusieurs considérations. Du point de vue de l'histoire de la politique énergétique française, c'est l'année où de nouvelles orientations (1) ont été fixées par le Conseil Central de Planification sur l'Energie en réaction à la forte élévation du prix du pétrole brut décidée par l'OPEP en automne 1973. Des corrections ont été apportées aux perspectives initiales du VI<sup>e</sup> Plan qui visait à réduire de plus de 45 Mtep (2) le niveau de la demande en 1985. Parallèlement, du côté de l'offre, le développement de l'énergie nucléaire était accentué dans le souci de réduire les importations de pétrole.

D'un point de vue plus concret, 1975 est également l'année pour laquelle on dispose d'une base d'informations énergétiques relativement solides (3), aussi bien nationalement que régionalement. Les statistiques des années antérieures sont parfois entachées d'erreurs, principalement pour le secteur industriel et pour les consommations de produits pétroliers. Les statistiques de l'année 1976, plus complètes puisqu'aux bilans énergétiques régionaux de consommations publiés par le CEREN ont été adjoints des bilans d'approvisionnements, n'étaient pas disponibles au moment du démarrage de l'étude.

En ce qui concerne les informations à caractère économique (valeurs ajoutées et PIB régionaux), la situation est moins favorable parce que les dernières statistiques annuelles disponibles remontent à 1972 (4). Heureusement, le recensement de la population de 1975, avec ses nombreuses données régionales sur l'emploi, les logements, etc., permet de remédier dans une certaine mesure au retard accusé dans le traitement des statistiques économiques régionales.

Le choix de 1975 pour année initiale apparaît donc comme le résultat d'un compromis entre plusieurs dates, le critère de disponibilité des informations énergétiques ayant pris le pas sur celle des informations économiques.

## 2000

Date symbolique pour toute prévision à long terme, elle constitue l'horizon sur lequel portent de nombreux travaux, tout particulièrement les études prospectives en matière d'emploi qui sont à l'origine de la construction de nos trois scénarios énergétiques. Les 25 ans qui s'étendent entre cette date et l'année initiale sont un laps de temps suffisamment long pour se prêter à un exercice de prévision exploratoire avec des hypothèses contrastées, autant sur le développement économique et social de la France dans son ensemble et des grandes régions qui la constituent que sur l'évolution des formes d'énergie traditionnelles et sur la percée des nouvelles formes d'énergie. C'est aussi un délai suffisant pour que puissent se réaliser les changements qui conditionnent la vraisemblance de certaines hypothèses et de certaines prévisions. Allusion est faite ici aux modifications d'ordre institutionnel ou réglementaire qui pourraient se révéler indispensables à la mise en œuvre d'une orientation en faveur des ressources locales, ou d'une conservation plus poussée de l'énergie, et qu'il est possible de voir aboutir en un quart de siècle. Aussi l'étude se limite-t-elle à l'examen de la faisabilité strictement économique et technique des prévisions d'offre et de demande.

(1) Faisant suite à la décision du 4 mars 1974 du Conseil Interministériel de mettre en œuvre un important programme électro-nucléaire (Plan « Messmer »).

(2) Tep : tonne équivalent pétrole ; Mtep : million de tonnes équivalent pétrole.

(3) Cf. les annuaires du CEREN : « Consommations énergétiques du secteur résidentiel et tertiaire », cahier du CSTB n° 180, juin 1970, rapport établi par l'Agence pour les Economies d'Energie ; les documents du VII<sup>e</sup> Plan.

(4) Depuis, l'INSEE a publié, en janvier, avril et mai 1979, trois numéros des collections de l'INSEE — R33 et R36 - R37 — relatifs aux comptes régionaux des branches industrielles en 1973, 1974 et 1975.

## 1985

C'est un horizon intermédiaire entre 1975 et 2000. Il fait la transition entre le moyen et le long terme et marque les inflexions que subit l'évolution future de l'offre et de la demande d'énergie en raison des constructions d'équipements en cours ou en projet à la date initiale. Les décisions antérieures à 1975 exercent jusqu'alors une influence déterminante et il importe de repérer ce point de passage sur la trajectoire qui va du début à la fin de la période. Ce repérage de l'année 1985 n'a pas été réalisé systématiquement pour les scénarios I et III (voir plus loin la définition de ces scénarios) :

— pour le scénario I - le moins vraisemblable des trois scénarios - on s'est abstenu de déterminer les prévisions de l'offre, alors que les prévisions de demande ont été effectuées pour comparaison avec le scénario II ;

— pour le scénario III, qui cumule des changements importants dans l'organisation du système économique **et** dans celle du système énergétique, il est plus délicat, en l'absence d'études, de chiffrer cette période de transition que constitue 1985.

Mais il faut cependant noter que les prévisions pour 1985 dans les deux premiers scénarios ne sont pas obtenues par simple interpolation entre 1975 et 2000. Elles sont déterminées de façon autonome, et les procédures de calcul sont du même type que celles effectuées pour l'année finale.

Remarquons que l'année 2000 ne doit pas être considérée comme un horizon rigide. Si certains événements se précipitaient (blocage des exportations de pétrole, hausse très forte du prix des produits pétroliers...) ou si des impulsions très vigoureuses étaient envisagées dans certaines directions (économies massives d'énergie par modification des habitudes de vie ou par substitution des procédés techniques, développement systématique de nouvelles productions d'énergie...), les esquisses à l'horizon 2000 pourraient être avancées de quelques années. L'accélération plus rapide que prévue de certaines mutations avancerait, par exemple en 1995, ce qui n'est attendu que pour 2000. Dans ce cas, la demande et l'offre d'énergie anticiperaient de cinq ans leur évolution par rapport au calendrier initial. Inversement, il est facile d'imaginer des événements agissant en sens contraire et retardant de plusieurs années l'évolution prévue pour 2000. On peut donc concevoir l'horizon 2000 comme un horizon approximatif pour la réalisation des images à long terme des scénarios de référence étudiés, la fixation de cet horizon dépendant davantage d'un principe de vraisemblance que de déductions rigoureuses.

## I. 2. LE CADRE SPATIAL

### I. 2.1. Le choix de « grandes régions »

Des considérations tant méthodologiques que pratiques ont conduit à retenir le niveau des « **grandes régions** », niveau intermédiaire entre la Région de Programme et celui des Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire. Cette approche du découpage régional ne nous interdira pas, cependant, lorsque le besoin s'en fera sentir, de recourir à des niveaux plus désagrégés tels que les espaces urbains ou ruraux, voire les classes d'agglomération dans les espaces urbains.

Quelques explications sont nécessaires pour préciser les considérations méthodologiques et pratiques qui ont amené à ce choix de découpage. A priori, il existe une multiplicité de découpages régionaux selon les problèmes à étudier. Puisqu'il s'agit de donner des évaluations chiffrées à long terme d'offre-demande d'énergie par région, deux catégories d'informations régionalisées sont nécessaires pour mener à bien ces évaluations :

— d'une part, des informations relatives aux structures économiques de la région puisqu'elles déterminent en grande partie les niveaux d'activité des secteurs qui consomment de l'énergie ;

— d'autre part, des informations relatives aux paramètres et variables énergétiques de chacune des grandes branches économiques, puisqu'elles déterminent — à niveau et structure d'activité économique donnée — les consommations spécifiques en énergie.

En d'autres termes, cela revient :

— à définir des scénarios économiques et des scénarios énergétiques par région ;

— à trouver un découpage régional qui soit pertinent pour la construction des deux types de scénarios.

Sur le premier point, un spécialiste de l'analyse du développement régional (1) soutient le principe du découpage en grandes régions pour les raisons suivantes : « La Région économique... est avant tout aire de polarisation d'une armature urbaine et espace de vie d'une population... Au sein d'un tel espace, l'armature urbaine n'a évidemment aucune raison d'être « homogène » ; elle est au contraire diversifiée, hiérarchisée et interreliée. C'est au niveau des grandes régions, polarisées par une armature urbaine, qu'apparaissent les phénomènes de correspondance entre organisation urbaine et organisation industrielle. En d'autres termes, la région est prise en tant que système, constitué d'éléments hétérogènes mais fortement interdépendants. En conséquence, un découpage en petites régions « homogènes » ne paraît pas adapté ni à la problématique du développement régional, ni à la politique du développement régional » (2). Cette longue citation a le mérite de condenser en quelques lignes les arguments théoriques qui justifient le principe de découpage en « grandes régions ».

Ce découpage semble pertinent quant à l'élaboration de scénarios énergétiques régionaux pour trois raisons :

— parce que le modèle de simulation des consommations énergétiques qui est utilisé repose aussi sur un clivage entre système industriel et système urbain ;

— parce que toute tentative — déjà délicate au niveau d'un petit nombre de grandes régions — de collecter des données et des prévisions pour des évaluations à long terme n'a aucun sens au niveau d'une multitude de petites régions ;

— parce que le nécessaire passage des bilans régionaux au bilan national implique des contraintes de cohérence d'autant plus difficiles à vérifier que le nombre des régions étudiées est grand.

Mais ceci ne veut pas dire, tant pour l'analyse de la demande énergétique que pour celle de l'offre énergétique, et donc de l'adéquation entre ces deux catégories, que l'on ait renoncé à utiliser d'autres découpages spatiaux plus désagrégés en comparaison à celui des grandes régions : ce dernier point sera précisé dans la troisième section de ce chapitre ainsi que dans le chapitre 3.

### 1.2.2. Le découpage retenu

Les raisons pour le choix d'un découpage en grandes régions venant d'être énumérées, il reste à préciser les modalités concrètes de ce choix puisqu'il demeure une incertitude sur le nombre définitif de ces régions. Pour la France, il peut varier approximativement entre 8 et 15. Les avantages et inconvénients d'un nombre élevé ou faible de régions sont a priori assez faciles à identifier :

(1) B. Planque, du CER d'Aix-en-Provence.

(2) B. Planque : « Théorie du développement ou théorie de la localisation ? ». Réponse à P. Aydalot à une note de lecture sur « Entreprises, région et développement industriel ». In Recherches Economiques et Sociales, Cahier du CORDES - Régions et développement - juillet 1978, n° 11, p. 23 et 24.

— Nombre élevé (par exemple 15) : espaces régionaux plus homogènes économiquement, socialement et géographiquement, mais grand nombre de données à manipuler, donc des difficultés plus importantes dans la collecte et l'évaluation de ces données.

— Nombre faible (par exemple 8) : problèmes de manipulation statistique et d'évaluation chiffrées allégées, mais espaces régionaux plus étendus donc plus hétérogènes.

En pratique, le choix qui nous est proposé porte sur les trois découpages suivants (cf. carte ci-contre) :

— Un découpage (D1) correspondant exactement au découpage des Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire (ZEAT), soit 8 régions. Chacune de ces régions est une région de programme ou un nombre entier de régions de programme ;

— Un découpage (D2) en neuf régions, quasi identique à D1, mais avec un Sud-Ouest plus petit (Aquitaine-Midi-Pyrénées), un Centre-Est limité à Rhône-Alpes, et l'apparition du Massif Central (Auvergne + Limousin) comme neuvième région. Par convention, les régions correspondant à ce découpage ont été appelées ZEAT modifiées ou ZEATMOD ;

— Un découpage (D3) dit découpage CATCAV, en neuf régions, voisin du découpage D2, avec des différences provenant de ce que certaines régions de programme sont divisées entre deux ZEATMOD.

L'homogénéité résultant de ce dernier découpage est sans nul doute supérieure à celle de D2, elle-même supérieure à l'homogénéité de D1. Malheureusement, cette modalité de découpage implique la partition en départements d'au moins huit régions de programme, ce qui conduit à des difficultés très importantes de traitement statistique.

Le découpage retenu dans la présente étude sera donc le découpage D2 du territoire français en neuf ZEATMOD.

## II. LES SCENARIOS UTILISES

On a vu dans l'introduction de ce chapitre en quoi la construction de bilans énergétiques régionaux à long terme passe par le détour inévitable d'une description des grandes lignes des avènements possibles de la société française. Mais il ne peut être question de passer directement de ces scénarios de société à des scénarios énergétiques régionaux. L'apport des travaux de Chateau et Lapillonne (1), bien que formellement limités aux aspects de la demande énergétique, se révèle indispensable pour assurer le passage des scénarios de sociétés aux scénarios énergétiques au niveau national. Pour aboutir au niveau régional, il faut en outre :

— établir si la méthode de passage des scénarios de société aux scénarios énergétiques, utilisée au niveau national, peut être transposée au niveau régional, en supposant connues les évaluations économiques et sociales des 9 régions étudiées ;

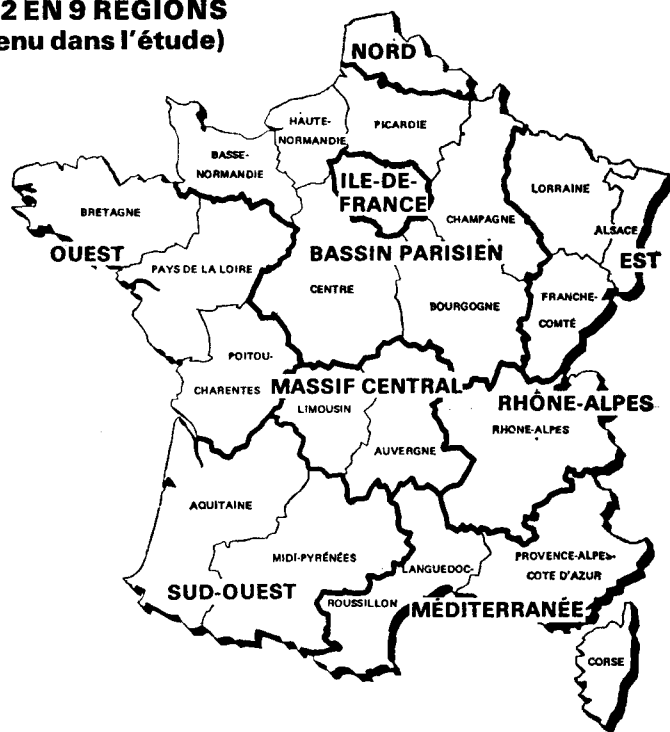
— établir si des travaux de prospective régionale à long terme permettent d'explicitier ces évolutions économiques et sociales.

La première contrainte a pu être levée, comme on le verra au chapitre suivant. Quant à la seconde, les travaux collectifs effectués dans le cadre d'un séminaire du Centre des Sciences Sociales de l'Ecole Normale Supérieure (2), ont permis, bien qu'axés essentiellement sur les problèmes

(1) Cf. notamment « La prévision à long terme de la demande d'énergie » et « Essai de prévision de la demande d'énergie en France à l'an 2000 ». Etude de deux scénarios contrastés.

(2) P. Barret, F. Bas, J.F. Langumier, M. Laperrousaz, J.L. Muron, J. Piona, A. Valeyre : « L'emploi ou l'obsession du futur ». Futuribles - Scénarios pour l'avenir. Paris, 1978.

## DÉCOUPAGE D2 EN 9 RÉGIONS (découpage retenu dans l'étude)



Composition des régions ZEATMOD – (R.P. – Région de Programme) (découpage D2)

- 1 – ZEATMOD ILE-DE-FRANCE = R.P. ILE-DE-FRANCE
- 2 – ZEATMOD BASSIN PARISIEN = R.P. HAUTE-NORMANDIE + R.P. BASSE-NORMANDIE + R.P. PICARDIE + R.P. CHAMPAGNE-ARDENNE + R.P. BOURGOGNE + R.P. CENTRE
- 3 – ZEATMOD NORD = R.P. NORD
- 4 – ZEATMOD EST = R.P. LORRAINE + R.P. ALSACE + R.P. FRANCHE-COMTÉ
- 5 – ZEATMOD OUEST = R.P. BRETAGNE + R.P. PAYS DE LA LOIRE + R.P. POITOU-CHARENTE
- 6 – ZEATMOD SUD-OUEST = R.P. AQUITAINE + R.P. MIDI-PYRÉNÉES
- 7 – ZEATMOD MASSIF CENTRAL = R.P. LIMOUSIN + R.P. CENTRE
- 8 – ZEATMOD RHÔNE-ALPES = R.P. RHÔNE ALPES
- 9 – ZEATMOD MÉDITERRANÉE = R.P. PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR + R.P. LANGUEDOC-ROUSSILLON.

## DÉCOUPAGE D1 EN 8 RÉGIONS

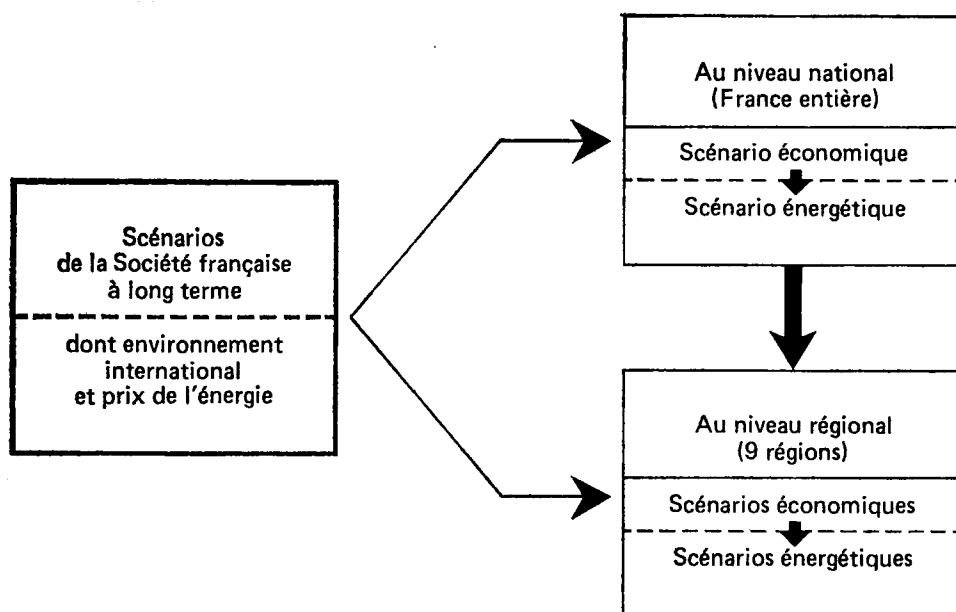


## DÉCOUPAGE D3 EN 9 RÉGIONS



d'emploi, d'apporter une base indispensable à la mise en œuvre de la méthode de prévision au niveau régional.

Avant de préciser le contenu des scénarios, on résumera dans le graphique suivant l'ensemble de la démarche.



## **II.1. DES SCENARIOS DE SOCIETE AUX SCENARIOS REGIONAUX D'EMPLOI DANS L'ETUDE FUTURIBLES**

Les auteurs de « L'emploi ou l'obsession du futur » ont retenu trois avènements de la société française, « sans prétendre ouvrir tout le champ des possibles et en sachant que l'esquisse n'est jamais éloignée de la caricature » (1).

Trois scénarios ont été construits à partir des trois avènements suivants :

- scénario 1 : Un nouveau libéralisme
- scénario 2 : La relance nationale
- scénario 3 : La nouvelle croissance.

Seules, les grandes lignes de ces scénarios seront rappelées ici : la lecture de l'ouvrage cité est nécessaire pour tout complément d'information.

### **II.1.2. Le scénario 1 : Un nouveau libéralisme**

« C'est le scénario d'une France totalement ouverte aux courants internationaux, financiers et commerciaux, dans un monde où joue sans restrictions la loi des avantages comparatifs, une France qui tend à se

(1) Réf. étude Futuribles, op. cité, p. 7. Dans la suite de cette section, les guillemets marquent la référence à cette publication.



spécialiser dans les activités qui lui échoient par une division internationale du travail rationnelle. Ce sont, à l'intérieur, dans la vie sociale et économique, les mêmes principes qui prévalent à l'échelle du monde, à tout le moins du monde occidental. La localisation des activités, notamment, n'y fait pas l'objet d'une politique volontaire de l'Etat, mais ressort de l'action non contrainte des agents économiques et des collectivités locales » (Futuribles, p. 7).

On peut en dessiner les grandes orientations :

— La France tend à s'insérer plus profondément dans la division internationale du travail.

— « Le rôle de l'Etat dans le domaine strictement économique est limité, mais pour préserver la « stabilité sociale », il doit avoir le monopole du contrôle social » (p. 18 et 25).

— En 2000, la France se trouve dotée d'industries bien implantées dans les secteurs du caoutchouc, de l'aéronautique militaire, du nucléaire, des matériaux de construction, de la pharmacie et des métaux non ferreux.

— Les industries de biens de consommation sont localisées dans les pays en voie de développement.

— On assiste à un abandon progressif de la sidérurgie et du textile.

— La branche dont la progression est la plus nette est l'électronique, suivie par le verre et les matériaux de construction, les IAA et l'automobile. Toutes les autres branches stagnent ou régressent.

— Les effectifs du tertiaire croissent fortement sous l'effet d'un développement des services marchands.

— Le taux d'urbanisation est élevé (81 % en 2000 contre 73 % en 1975).

— Le chômage progresse jusqu'en 1985 pour redescendre en 2000 jusqu'à une valeur d'environ 1 million.

— Enfin, « le cheminement se caractérise d'abord par la fin de la crise économique mondiale aux environs de 1985 et la reprise économique durable qu'elle autorise » (p. 23).

— Le taux de croissance du PIB est fixé à :

\* 3 % entre 1975 et 1985

\* 5,5 % entre 1985 et 2000,

soit globalement une progression de 4,5 % par an entre 1975 et 2000.

Et :

— La politique d'aménagement de l'espace se traduit par la polarisation renforcée des activités à travers le territoire, par la spécialisation des régions, par « l'abandon du rééquilibrage Est-Ouest », par une localisation du développement industriel en Rhône-Alpes, à la périphérie de la Région Parisienne et dans le Bassin Parisien.

La dominante de ce scénario est l'ouverture totale de l'économie nationale au marché mondial à un point tel que la structure économique (proportion des différentes branches) et le niveau d'activité lui sont dictés par la spécialisation internationale.

### **II. 1. 2. Le scénario II : « La relance nationale »**

« Le deuxième scénario suppose le retour à la logique de développement et de gestion des années 1960, son prolongement et son succès. Optant, à l'extérieur, pour une franche et vigoureuse politique européenne, la France n'hésite pas à assurer sa propre auto-défense économique dès lors que, en un moment ou dans un secteur, l'Europe y faillit pour son compte. Ce choix européen, surveillé et contrôlé dans sa mise en œuvre, conforté par un dirigisme tempéré, autorise un assez large déploiement des activités sur le territoire national, en particulier de celles qu'on

baptise « stratégiques » parce qu'elles sont importantes, qu'il s'agisse des industries de base, de pointe, ou de la prestation de certains services. L'aménagement du territoire intervient pour corriger à la marge une évolution qui reste marquée par la dynamique industrielle et urbaine, et s'effectue donc sous le signe de la polarisation » (op. cit., p. 7).

Ce scénario aboutit à l'ensemble d'images suivant :

— La France sauvegarde les secteurs de base, même s'ils ne sont pas compétitifs sur le marché international.

— « On assiste au renforcement du pouvoir de l'Etat consécutif à ses efforts de restructuration économique et à sa préoccupation de mobiliser les forces nationales pour assurer une relance volontaire et drastique ».

— Une part importante du revenu national est consacrée à l'investissement productif.

— Les emplois industriels régressent en pourcentage entre 1975 et 2000, mais augmentent en valeur absolue.

— Il y a croissance pour les biens d'équipements, stabilité pour les biens intermédiaires et légère diminution pour les biens de consommation.

— Les branches les plus en pointe sont la mécanique, l'électronique, la première transformation des métaux, les IAA, les matières plastiques et l'automobile.

— La sidérurgie cesse d'être exportatrice, mais conserve sa place dans l'approvisionnement des besoins nationaux.

— Les effectifs du tertiaire (emplois administratifs, commerce, transports) augmentent, mais moins rapidement que dans le scénario I.

— Le chômage atteint 0,8 million en 1975 et se stabilise autour de 0,5 million en 2000.

Ainsi :

— « La politique de relance aura permis à l'économie française d'anticiper de plusieurs années la reprise internationale grâce à des efforts proprement nationaux » (p. 44).

— Le taux de croissance du PIB est fixé à :

\* 3 % entre 1975 et 1980 et

\* 5 % entre 1980 et 2000,

soit globalement une progression d'environ 4,5 % entre 1975 et 2000 (identique à celle du scénario I).

La politique d'aménagement du territoire se caractérise par une « polarisation desserrée », ou politique d'aménagement s'efforçant d'éliminer les effets les plus nocifs de la tendance fondamentale à la polarisation des activités dans des zones privilégiées. Le Bassin Parisien devient la première région industrielle de France. L'emploi augmente en Rhône-Alpes et à un moindre degré dans l'Est et le Nord. Ailleurs, l'emploi industriel stagne ou régresse, sauf dans l'Ouest qui bénéficie encore d'une priorité d'aménagement.

### **II. 1. 3. Le scénario III : « La nouvelle croissance »**

« Le troisième scénario est celui d'une nouvelle croissance. Nouvelle d'abord en ce qu'elle est sensiblement plus faible que dans les deux précédents scénarios. Nouvelle ensuite par son contenu, en ce que d'une part elle vise à assurer au développement économique du pays une autonomie aussi grande que ses ressources le lui permettent : et d'autre part en ce qu'elle se conforme à des objectifs sociaux qui lui sont rigoureusement imposés : le plein emploi, la réduction du temps de travail (avec, il va sans dire, un abaissement économique des rémunérations), l'amélioration systématique des conditions de travail, la promotion des services

sociaux et d'autres contraintes encore touchant au mode et au cadre de la vie des gens » (op. cit., p. 7).

Ce troisième scénario est extrêmement contrasté avec les deux premiers, surtout dans le cheminement vers l'image finale. Ici, en cours de route, vers les années 1985, se produit une réorientation profonde, non seulement dans l'évolution économique, mais aussi et surtout dans les rapports sociaux, dans les valeurs et les aspirations, dans le cadre de vie. La crise économique se double d'une crise longue et complète de la société, et le scénario tente de percevoir quels seront les impacts de ces bouleversements sur les niveaux de l'emploi et de l'activité économique. Ses traits caractéristiques étant brossés, on passera à présent directement à l'image à laquelle il aboutit en l'an 2000, sans aborder le cheminement effectué dans la première période (1975-1985), et cela pour deux raisons : tout d'abord on risquerait de trop s'étendre, surtout si on s'attardait à préciser dans tous ses détails les modalités du cheminement ; et ensuite il a été convenu pour ce scénario de ne définir le profil énergétique de l'offre et de la demande que pour l'étape finale en délaissant l'étape intermédiaire de 1985.

On aboutit ainsi à l'image suivante pour l'an 2000 :

— La France se trouve à l'écart des principaux blocs économiques et politiques du monde occidental et devient ainsi un partenaire privilégié des pays du Tiers Monde (surtout le Bassin Méditerranéen), se défiant de plus en plus des super-puissances.

— « Le pouvoir est plus directement exercé par les producteurs sur les lieux de travail ». La décentralisation s'amplifie (pouvoirs locaux, organismes économiques et financiers régionaux) et « les mouvements d'émancipation régionaux affirment leur légitimité » (op. cit., p. 61).

— Ce scénario de nouvelle croissance signifie le repli de l'appareil productif sur le territoire national, c'est-à-dire la recherche de l'autonomie du développement économique : « compter sur ses propres forces ». « La priorité est donnée aux politiques sociales sur les politiques économiques », au détriment de la compétitivité économique.

— La politique industrielle vise l'autonomie : reconversion des industries de consommation dans le sens d'une amélioration de la qualité et de la durabilité des produits, maintien des industries de biens intermédiaires pour la satisfaction du marché intérieur, forte expansion des biens d'équipement pour s'assurer la maîtrise des filières technologiques, pour produire des matériels de haute technicité et pour réduire les déficits commerciaux.

— Les services, plus publics que privés, connaissent une très nette extension (+ 4 millions par rapport à 1975), mais dans le total de l'emploi, le score est plus bas que pour les deux autres scénarios (55 % en III contre 61 % en I et 57 % en II).

— Le plein emploi est impératif tout au long de la période.

— Le taux de croissance du PIB est fixé à 3 % sur l'ensemble de l'intervalle 1975-2000.

— En 2000, le revenu national n'atteint que les 2/3 du revenu des scénarios I et II.

— « L'image de la répartition spatiale de l'emploi en 2000 est très proche de celle des années 1950, bien que son contenu soit très différent » (op. cit., p. 82). La population de l'Ouest et du Sud-Ouest est légèrement rééquilibrée au détriment de la Région Parisienne et du Bassin Parisien. La situation dans les régions, tant en ce qui concerne la population que l'emploi, a tendance à s'homogénéiser.

Résumons dans un tableau les aspects quantitatifs essentiels de ces trois scénarios.

**TABEAU 2**  
**TAUX DE CROISSANCE ENTRE 1975 ET 2000**

|                                                                                                                | 2000<br>I | 2000<br>II | 2000<br>III |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------------|
| Taux de croissance de la production                                                                            | 4,5 (1)   | 4,5 (2)    | 3           |
| Taux de croissance de l'emploi                                                                                 | 0,25      | 0,55       | 0,95        |
| Taux de croissance de la productivité                                                                          | 4,6       | 4,0        | 3,2         |
| (1) 3 % entre 1975 et 1985 ; 5,5 % entre 1985 et 2000.<br>(2) 3 % entre 1975 et 1980 ; 5 % entre 1980 et 2000. |           |            |             |

Ces caractéristiques quantitatives, conjuguées avec les descriptions qualitatives qui précèdent, serviront de base à la détermination des coefficients et des paramètres utilisés dans le modèle de simulation, coefficients aussi bien d'ordre démographique et économique (population, PIB, valeur ajoutée) qu'énergétique (taux de pénétration des formes d'énergie, part relative des divers usages, rendements des installations...). La cohérence globale des hypothèses que l'on a tenté de construire au sein de chaque scénario et les contrastes plus ou moins marqués que l'on a introduits en passant de l'un à l'autre devront être traduites concrètement et au moment venu par le chiffrage réel de ces coefficients et paramètres.

## **II. 2. L'ASSOCIATION DE SCENARIOS ENERGETIQUES AUX SCENARIOS DE SOCIETE**

Par scénario énergétique, on entend ici la description qualitative des grandes tendances d'organisation du secteur énergétique et d'orientation de la politique énergétique. Les lignes qui suivent ont pour objet de construire une image du secteur énergétique qui corresponde à un scénario. Ce choix pour une évolution et une seule du secteur énergétique par scénario doit être entendue comme une simplification nécessaire compte tenu du fait que l'approche globale retenue est suffisamment complexe et longue. Il ne signifie donc pas que d'autres variantes ne puissent être définies, présentant le même degré de cohérence que celui recherché ici.

### **II. 2. 1. Le scénario énergétique dans la « nouvelle société libérale »**

A quoi peut correspondre, dans le secteur énergétique, le libre jeu de la loi des avantages comparatifs, base de ce scénario I ?

En premier lieu, le secteur énergétique est placé exactement au même niveau que tous les autres secteurs : son output (l'énergie secondaire) est un produit banal que l'on n'hésite pas à importer toutes les fois que son coût d'importation est inférieur au coût de production nationale. Il n'y a donc pas dans cette logique, et ceci par hypothèse, de goulot d'étranglement pesant sur les arbitrages importation/production nationale, notamment en termes de devises.

Le corollaire de cette option est le libéralisme total au niveau du marché intérieur. Le désengagement de l'Etat des différents secteurs dans lequel il est impliqué — construction des logements, transports, énergie — exclut toute protection juridique et toute subvention d'exploitation durables aux entreprises énergétiques nationales. Ces deux orientations, qui privilégient l'adaptation rapide et constante de l'économie française aux fluctuations de l'économie mondiale, entraînent les conséquences suivantes :

— L'arbitrage entre économies d'énergie et production ou importation d'énergie est plutôt rendu en faveur de la deuxième stratégie dans la mesure où les investissements d'économie d'énergie à réaliser impliquent un horizon long, alors que le scénario suppose une subordination aux mouvements de prix du court terme. Donc, très peu d'économies d'énergie, sauf à supposer que des augmentations massives du prix de l'énergie dominante — le pétrole — mettent en cause la cohérence du scénario.

— L'arbitrage entre production nationale et importation d'énergie est lui aussi subordonné à un critère de coût financier minimum. Cela entraîne la poursuite du programme électro-nucléaire, mais à un rythme inférieur au rythme actuel, dans la mesure où le relais de la surgénération n'est pas économiquement prouvé et où le développement de l'électricité dans les usages thermiques peut être remplacé par celui du charbon importé ou du gaz, voire de certaines énergies nouvelles. Ces dernières, en particulier le solaire sous ses différentes formes, ne se développent que lentement et marginalement.

— L'approvisionnement pétrolier est pour sa plus grande part laissé aux transnationales.

— Aucune contrainte d'aménagement du territoire n'est fixée à la localisation des équipements énergétiques ou des points d'importation.

### **II. 2. 2. Le scénario énergétique dans la « relance nationale »**

Dans ce scénario, contrairement au scénario I, les branches économiques sont différenciées et classées par ordre d'importance stratégique. On peut estimer que le secteur énergétique fait partie de ces quelques secteurs stratégiques dont l'Etat soutient le développement par des incitations et des réglementations : on juge important pour le pays que celui-ci atteigne un objectif de 50 %, par exemple, d'auto approvisionnement énergétique pour la fin de la période. Cela signifie la poursuite et l'extension du programme électro-nucléaire, mais également un programme d'investissement en faveur des économies d'énergie. Ce programme constitue un objectif national, mais néanmoins subordonné au premier, tant au niveau du financement des investissements pour lesquels l'aide de l'Etat est requise, qu'au niveau du mode de consommation et de développement dont la continuité est jugée comme essentielle à la réalisation de taux de croissance élevés.

— Les approvisionnements pétroliers tendent à être contrôlés en majorité par des sociétés nationales, mais leurs possibilités d'action sont coordonnées au niveau européen avec d'autres sociétés pétrolières nationales des pays membres de la CEE.

— Les énergies nouvelles sont assimilées, du point de vue du financement des investissements et de leur intégration dans le bilan énergétique, plutôt aux économies d'énergie qu'aux sources nationales d'énergie. On admet dans ce scénario quelques possibilités limitées de décrochement des prix de l'énergie nationale par rapport à ceux de l'énergie importée. Ces possibilités sont d'autant plus faciles à supposer que le prix de l'énergie augmente faiblement, mais régulièrement.

— Les considérations d'aménagement du territoire sont un des critères d'aide de l'Etat aux investissements électro-nucléaires, voire d'économie d'énergie.

### **II. 2. 3. Le scénario énergétique dans la « nouvelle croissance »**

Quelles sont, dans le secteur énergétique, les répercussions de la recherche d'une autonomie croissante, soient les impacts du scénario III ?

— Ce scénario admet une rupture dans les habitudes de consommation énergétique et dans les techniques de production énergétique. On cherche donc à substituer systématiquement, pour les usages à basse intensité, les formes d'énergie « noble » par des vecteurs énergétiques renouve-

lables, mais à basse température. Ainsi, le recyclage énergétique et économique est préféré aux investissements ayant pour objet l'accroissement de la production d'énergie noble (hydrocarbures, électricité) ou de son volume d'importation.

— Les contraintes d'équilibre financier interne et externe qui n'ont pas disparu pour autant impliquent une nouvelle réduction des inégalités dans les revenus, ainsi qu'un nouvel effort pour les investissements longs. Ces différentes ruptures peuvent provoquer des difficultés momentanées dans les approvisionnements pétroliers, soit avec les transnationales, soit avec certains pays producteurs.

— Les approvisionnements énergétiques sont soumis à une planification relativement contraignante, limitant d'autant les possibilités de choix de certains consommateurs. Les collectivités locales prennent des responsabilités de plus en plus grandes dans ce nouveau type de service public.

La cohérence de ce scénario suppose la prise de conscience collective par la société de l'incertitude qui pèse sur l'évolution des prix de l'énergie et la prise en charge anticipée de solutions de rechange. Cette orientation « préventive » semble d'autant moins lourde à supporter que les prix des énergies sur le marché mondial évoluent dans le même sens et avec la même rapidité qu'actuellement.

La recherche d'une certaine autarcie a pour contre-partie la fermeture relative des frontières des pays recevant traditionnellement nos exportations : en début de période, des tensions sont attendues quant à la capacité pour le pays de dégager des devises en quantité suffisante pour acheter l'énergie importée.

Les problèmes de financement interne et externe, posés notamment par une réorganisation profonde du secteur énergétique et le lancement de nouvelles formes d'énergie, constituent donc dans ce scénario l'une des difficultés permanentes de son déroulement.

### **II. 3. LES HYPOTHESES D'EVOLUTION DES PRIX DE L'ENERGIE COMPATIBLES AVEC LES TROIS SCENARIOS**

Il n'est pas question ici de proposer une prédiction — qui le pourrait ? — des mouvements de prix de l'énergie à long terme, mais plutôt de rechercher quelles sont les trajectoires des prix de l'énergie compatibles avec les grandes orientations de chaque scénario.

Ces orientations peuvent être de deux ordres différents :

— Orientations internes :

\* accent mis soit sur les combustibles, soit sur l'électricité, soit sur les énergies nouvelles, autrement dit choix pour tel ou tel vecteur énergétique ;

\* accent mis soit sur la production nationale, soit sur l'importation d'énergie, ou au contraire, accent mis sur la conservation de l'énergie.

— Orientations externes : production nationale ou importation.

Entre ces deux types d'orientations, celles mettant en rapport la production-importation d'énergie et la conservation d'énergie semblent prééminentes en France au moins pour les dix à quinze prochaines années. Le prix du pétrole auquel se raccrochent, par décôte ou premium, les prix du charbon et du gaz, demeure la variable de prix essentielle. Comment évoluera-t-il dans l'avenir ? A moyen et long terme, les prix de l'électricité peuvent-ils décrocher de ceux des combustibles : quelle sera l'évolution de cet écart ?

Telles paraissent être les deux ou trois questions essentielles que l'on peut se poser sur l'évolution à long terme des prix de l'énergie.

Avant de chercher à répondre à ces questions dans le cadre des trois scénarios, il est utile de rappeler l'évolution des coûts d'importation CAF (1) du pétrole brut en France, en monnaie courante et en monnaie constante.

Le dernier chiffre connu (2), correspondant au mois d'août 1979, n'intègre pas encore toutes les augmentations décidées par l'OPEP au début du mois de juillet 1979 : les spécialistes estiment en effet qu'il existe un décalage de trois mois entre les décisions de l'OPEP et le plein effet de ces décisions dans les statistiques douanières.

#### EVOLUTION DES COÛTS D'IMPORTATION CAF DU PETROLE BRUT EN FRANCE

| Année       | Monnaie courante<br>(1-6-1979) | Monnaie constante<br>(1-1-1979) |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1965        | 91,42                          | 219                             |
| 1970        | 92,99                          | —                               |
| 1971        | 114,37                         | 211,8                           |
| 1972        | 112,37                         | 208,1                           |
| 1973        | 115,50                         | 201,6                           |
| 1974        | 372,54                         | 606,45                          |
| 1975        | 378,80                         | 556,4                           |
| 1976        | 450,50                         | 587                             |
| 1977        | 491,50                         | 584                             |
| 1978        | 462,99                         | 507,5                           |
| 1979 (août) | 641,7                          | 641,7                           |

On voit donc, à la lecture de ce tableau, que le prix du pétrole importé au mois d'août 1979 (exprimé en monnaie du 1-6-79) est à peine supérieur à celui de 1974 (exprimé en monnaie constante du 1-1-79).

Si l'on écarte l'hypothèse d'une baisse peu plausible des prix du brut pour l'avenir, deux types de trajectoires — l'une d'augmentation modérée, l'autre d'augmentation forte — sont couramment projetées, étant entendu que l'occurrence d'un « événement-catastrophe » de doublement ou triplement soudain des prix CAF est écarté par convention de ces scénarios qui ressortent tous du « tendanciel orienté » (Futuribles, op. cit., p. 10).

Les résultats concrets diffèrent pour l'année de fin de période, selon les années de base retenues à partir desquelles on fait croître ces prix, et naturellement selon les taux de croissance projetés.

En partant pour 1975 d'un niveau de 556 F/tonne (monnaie du 1-1-79), on peut se donner pour hypothèses :

- soit une augmentation lente aboutissant à un niveau de l'ordre de 700 F/tonne (F du 1-1-79) en 2000 ;
- soit une augmentation plus rapide jusqu'au niveau de 910 F/tonne.

Telles étaient du moins les hypothèses de trajectoire retenues par deux chercheurs de l'IEJE dans leur thèse (1) et que nous reprenons pour

(1) Coût - Assurance - Frêt.

(2) Au moment de la rédaction de cet ouvrage.

(3) Chateau et L'apillonne : « La demande d'énergie finale de la France à l'horizon 2000. Trois scénarios par la méthode MEDEE ». IEJE, mars 1979.

les scénarios II et III. Quant au scénario I, nous adoptons une hypothèse déjà irréaliste aujourd'hui de stabilité des cours au niveau de l'année 1975 sur l'ensemble de la période.

Ces trajectoires sont supérieures aux évaluations prévues pour 1985 par la Commission de l'Energie du VII<sup>e</sup> Plan, mais en revanche elles se situent en dessous d'hypothèses actuellement étudiées dans le cadre de la préparation du VIII<sup>e</sup> Plan.

TABLEAU 3  
COMPARAISON DES HYPOTHESES D'EVOLUTION DU PRIX C A F DU PETROLE

|                                                     |                 | Hypothèses d'évolution sur la période en F constants              | Niveau 1985 en F du 1-1-79 | Niveau 2000 en F du 1-1-79 |
|-----------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Etude Energie-Régions                               | Scénario I      | Stabilité depuis 1975 jusqu'en 2000                               | 556 F/tonne                | 556 F/tonne                |
|                                                     | Scénario II     | Augmentation de 1 %/an de 1975 à 2000                             | 614 F/tonne                | 713 F/tonne                |
|                                                     | Scénario III    | Augmentation de 2 %/an de 1975 à 2000                             | 678 F/tonne                | 912 F/tonne                |
| Perspectives du VII <sup>e</sup> Plan (1)           | Hypothèse haute | Légère augmentation par rapport à l'année de base                 | 650 F/tonne                |                            |
|                                                     | Hypothèse basse | Baisse par rapport à l'année de base 74                           | 430 F/tonne                |                            |
| Travaux préparatoires du VIII <sup>e</sup> Plan (2) | Hypothèse haute | Stabilité de 1979 à 1985<br>Augmentation de 7 %/an de 1985 à 2000 | 600 F/tonne                | 1 655 F/tonne              |
|                                                     | Hypothèse basse | Stabilité de 1979 à 1985<br>Augmentation de 3 %/an de 1985 à 2000 | 600 F/tonne                | 933 F/tonne                |

(1) Perspectives : de 8 à 12 dollars/bl CAF avec 1 dollar = 4,50 F du 1-1-74, soit 265 à 400 F/t (en F du 1-1-74). Source : rapport de la Commission de l'énergie sur les orientations de la politique énergétique. MIR-CGP. Les dossiers de l'énergie 7, juillet 1975 (1 tonne  $\approx$  7,4 barils).

(2) Maintien en dollar constant par baril de fin juin 79 à 1985 : 20 dollars/baril. Hypothèse basse : niveau de 31 dollars atteint en 2000. Hypothèse haute : niveau de 55 dollars atteint en 2000. Source : document de travail des commissions de préparation du VIII<sup>e</sup> Plan. Pour effectuer le passage des dollars en francs, on a pris un taux de change constant de 1 dollar = 4,30 F (valeur fin juin 1979).

On rappelle que les hypothèses d'évaluation des prix de l'énergie en ce qui concerne la présente étude ont été retenues pour 1977, date de démarrage de l'étude, et qu'elles avaient été fournies à Chateau et Lapillonne par la SNEA en 1976. Elles se révèlent, à la lumière des augmentations récentes du prix du pétrole (juillet 1979) comme étant des « évolutions-plancher », sans doute trop faibles dans le scénario I.

Mais la projection de l'augmentation de 7 % en francs constants implique des bouleversements tels, dans le système énergétique (1) et dans le système économique, qu'aucun des trois scénarios ne peut être utilisé pour rendre compte de cette évolution du prix du pétrole.

Quant aux évolutions de prix de l'énergie électrique, des orientations avaient été proposées par EDF, toujours en 1976, qui conduisaient aux perspectives suivantes :

— période 1975-1985 : on suppose une évolution identique dans les deux scénarios :

(1) A ce prix, le pétrole ne paraît devoir être consommé que par la pétrochimie et la pharmacie.



- a) pour la haute tension, relèvement du niveau des tarifs de 5 % par rapport au niveau de 1973 ;
  - b) baisse de 5 % du niveau des tarifs basse tension, toujours par rapport au niveau 1973.
- période 1985-2000 : les évolutions sont différenciées par scénario :
- a) scénario à croissance modérée des prix de l'énergie : baisse de 2 % par an des prix de la haute tension et de la basse tension par rapport au niveau 1985 ;
  - b) scénario à croissance élevée des prix de l'énergie : augmentation de 2 % par an de la basse et de la haute tension par rapport au niveau 1985.

On supposera, dans le cadre de cette étude, que les scénarios I et II suivent l'évolution à la baisse des prix de l'électricité, et que le scénario III suit l'évolution à la hausse.

Quant aux énergies nouvelles, leur mise en œuvre s'effectue progressivement dans chacun des scénarios de manière croissante quand on passe du scénario I au scénario II, puis surtout du scénario II au scénario III, parallèlement à l'augmentation des prix des énergies « nobles ».

## Conclusion du chapitre I

Cette recherche ne prétend donc apporter qu'un certain type de réponses à ce vaste ensemble d'interrogations sur le long terme, des relations existant entre énergie, mode de vie et aménagement de l'espace (1).

Ces réponses sont non seulement limitées, mais aussi, de par le type de méthode suivie, fondamentalement dépendantes des grandes hypothèses retenues dans les scénarios ; il semble qu'elles doivent éclairer trois grands types de questions :

- le type d'environnement international que la France connaîtra dans ces vingt prochaines années, et donc les prix de l'énergie importée ;
- le mode de vie qui sera recherché majoritairement, et donc les besoins d'énergie qui en découleront ;
- l'évaluation de la différenciation régionale, c'est-à-dire la répartition du niveau d'activité et du contenu des branches économiques par région.

Bien que ne pouvant ignorer les résultats de la démarche prévisionniste, notamment en vue d'assurer un minimum de crédibilité aux scénarios présentés, la démarche prospective s'en distingue : ces résultats se veulent être une contribution « ouverte à tout contrôle » (2) dans un débat complexe et relativement nouveau.

(1) Cf. J.C. Derlan : « Energie et aménagement du territoire », p. 12 à 15, in Revue PCM, 4<sup>e</sup> trimestre 1978 - La production centralisée d'énergie.

(2) Pour reprendre les termes de l'équipe de l'étude « L'emploi ou l'obsession du futur », p. 10.

## Chapitre II

---

# LA DEMANDE D'ÉNERGIE

---

Un certain nombre de questions sont posées dans cette première partie concernant la demande d'énergie.

Quelles sont les quantités d'énergie demandées par les neuf régions, dans le cadre des trois scénarios et aux deux horizons de la période de prévision ? Comment se répartissent ces quantités selon les formes d'énergie utilisées, selon les usages qui en sont faits et selon les secteurs qui les utilisent ? Quels sont les facteurs déterminant le niveau des consommations énergétiques et quels sont les types de liaisons qui existent entre eux ? De quelle façon la demande énergétique est-elle influencée par l'évolution économique du pays tout entier et par les évolutions particulières de chaque région ?

S'il y a un impératif de logique à aborder les problèmes de la demande avant ceux de l'offre, il ne peut être question de dissocier totalement le premier volet du second. De nombreuses questions ne trouvent de réponses qu'à partir du moment où tour à tour la demande et l'offre d'énergie ont été examinées. C'est ainsi que certains des résultats proposés ici sont issus de l'étude de l'offre, certains même ayant subi un cycle complet d'itérations demande-offre-demande. Par exemple, les niveaux d'utilisation de la biomasse ou des effluents industriels ne peuvent être fixés qu'après l'évaluation préalable de l'offre potentielle qu'ils représentent, et les prévisions de l'offre ne découlent pas toujours naturellement et immédiatement des prévisions de la demande.

La séparation entre les deux parties risque d'être ressentie comme une coupure artificielle, mais il faut y voir le souci de faciliter la présentation des résultats. Une présentation qui aurait suivi fidèlement les modalités de détermination des prévisions aurait abouti à une structure de l'exposé tout à fait différente. Les retours en arrière et les ajustements successifs y auraient été nombreux. La crainte qu'ils soient fastidieux et qu'ils découragent le lecteur plus qu'ils ne l'éclaircissent nous a fait opter pour une démarche linéaire et un déroulement séquentiel.

## **I. LES CATEGORIES DE LA DEMANDE : LES SECTEURS UTILISATEURS, LES FORMES D'ENERGIE ET LES USAGES ENERGETIQUES**

Les statistiques de consommations régionales d'énergie sont généralement ventilées selon les branches ou les secteurs économiques et selon les formes d'énergie. Pour les prévisions, on adopte également ce principe de ventilation. Il conduit à la présentation de bilans énergétiques au regard de trois dimensions : région - secteur - forme d'énergie. La catégorie des **usages énergétiques** n'apparaît pas explicitement dans les prévisions de consommation, mais seulement dans la formalisation ultérieure du modèle. Ils constituent l'intermédiaire entre les besoins et les consommations d'énergie, et c'est à partir des usages énergétiques que

seront effectués tous les calculs qui permettent de déterminer la demande d'énergie utile puis, par un ensemble de rendements d'utilisation, de passer de la demande d'énergie utile à la demande d'énergie finale.

### **I. 1. LES BRANCHES ET LES SECTEURS ECONOMIQUES RETENUS**

Dans ses grandes lignes, la liste des branches correspond à celle qui est généralement utilisée pour la présentation des comptes nationaux. On convient d'appeler **secteur** un regroupement de branches.

La composition de chaque secteur est la même que celle de l'INSEE, à l'exception du secteur industriel où les regroupements de branches selon le type d'industrie (niveau 40 A) s'opèrent de façon un peu différente.. La classification adoptée ici est un compromis entre la classification de l'INSEE et celle du CEREN, de telle façon à faire coïncider les statistiques économiques (valeur ajoutée ou d'emploi) avec les statistiques énergétiques. Il a fallu trouver une décomposition en **sous-secteurs industriels** (biens intermédiaires, biens d'équipement, biens de consommation, industries agro-alimentaires) telle que l'ensemble des informations numériques à recueillir pour les calculs de prévision correspondent bien à la même base d'activités. Le nombre de branches déplacées par rapport aux regroupements effectués par l'INSEE ou le CEREN a été réduit au maximum. Avec la répartition des branches entre les sous-secteurs, qui est finalement la nôtre, il suffit de trois ou quatre calculs d'estimation pour assurer dans le cadre d'un même sous-secteur la correspondance entre les données économiques et les données énergétiques.

Nous avons donc été amenés à retenir les secteurs suivants, résultant de ce regroupement particulier de branches :

#### **LES BRANCHES ET LES SECTEURS ECONOMIQUES**

##### **LE SECTEUR AGRICOLE**

Branche UO 1

##### **LE SECTEUR INDUSTRIEL**

###### **Industries de biens intermédiaires**

- \* minerais et métaux ferreux
- \* minerais et métaux non ferreux
- \* matériaux de construction
- \* verre
- \* chimie de base
- \* papier-carton
- \* caoutchouc
- \* parachimie et pharmacie \*
- \* fonderie et travail des métaux \*

###### **Industries des biens d'équipement**

- \* construction mécanique
- \* matériels électriques et électroniques professionnels
- \* construction navale et aéronautique, armement
- \* biens d'équipement ménager
- \* automobile et transport terrestre

###### **Industries de biens de consommation courante**

- \* textile, habillement

- \* fils et fibres artificiels et synthétiques \*
- \* matières plastiques \*
- \* cuir et chaussures
- \* bois, meubles, industries diverses
- \* presse, imprimerie, édition

#### **Industries agro-alimentaires**

- \* produits alimentaires et boissons

#### **LE SECTEUR DU BATIMENT**

Branche UO 7

#### **LE SECTEUR TERTIAIRE**

Branches UO 8 à UO 14

#### **LE SECTEUR DES TRANSPORTS (1)**

\* Branches déplacées par rapport à la classification INSEE et CEREN.

(1) Intégré dans le secteur tertiaire. Les prévisions énergétiques sont cependant réalisées séparément.

Les prévisions de consommations d'énergie dans les neuf régions sont réalisées pour chacun des secteurs précédents. Les consommations des secteurs agricole, industriel, du bâtiment, du tertiaire et des transports constituent l'ensemble appelé « **utilisations finales de l'énergie** ». Les consommations du secteur énergétique, constituées essentiellement par des pertes de transformation, sont ajoutées à ces utilisations finales pour passer à la **consommation primaire d'énergie**.

## **I. 2. LES FORMES D'ENERGIE ET LES USAGES ENERGETIQUES**

Pour chaque secteur, les utilisations finales de l'énergie sont décomposées en quatre catégories :

- les combustibles
- les carburants
- l'électricité
- les nouvelles formes d'énergie.

\* Les **combustibles** regroupent le charbon, le gaz et les produits pétroliers. Dans l'analyse de la demande, ces combustibles sont agrégés en un seul ensemble. On suppose donc implicitement qu'à moyen et long terme ils sont parfaitement substituables les uns aux autres pour un même usage. Les consommations non énergétiques, essentiellement sous forme de gaz et de produits pétroliers, sont exclus du champ de l'étude. Les quantités qui y correspondent n'apparaissent pas dans les consommations d'énergie primaire.

\* Les **carburants** sont constitués essentiellement par le gas-oil et l'essence. On suppose qu'ils ne sont consommés que par le secteur des transports, bien que les statistiques fassent apparaître quelques quantités livrées au secteur industriel. Par souci de simplification, on a assimilé ces carburants aux combustibles.

\* **L'électricité** est supposée être le même vecteur énergétique quelle que soit la classe d'utilisateur. On ne distingue pas la haute tension de la basse tension et les considérations de puissance ou de postes horaires ne sont pas prises en compte.

\* Les **nouvelles formes d'énergie** constituent au contraire un ensemble plus hétérogène. Leur regroupement en une catégorie unique s'explique

facilement quand il s'agit de comparer leur contribution à celle des trois autres formes d'énergie. Ce n'est pas le score atteint par telle ou telle d'entre elles qui est intéressant, mais leur apport global. Profitant des possibilités offertes par le modèle de simulation, on isolera quelquefois l'énergie solaire des autres formes d'énergie. Au contraire de ce qui se passe pour la catégorie de la demande, ces nouvelles formes d'énergie, appelées aussi énergies locales, feront l'objet de traitements détaillés dans l'analyse de l'offre.

Enfin, dans chacun des secteurs, un certain nombre **d'usages énergétiques** sont pris en considération, qui déterminent la quantité d'énergie utile requise :

- \* Dans le secteur résidentiel, les usages considérés sont le chauffage des locaux, l'eau chaude sanitaire (ECS), la cuisson et les usages spécifiques de l'électricité (y compris la climatisation).

- \* Dans le secteur tertiaire, la distinction n'est établie qu'entre les usages thermiques (chauffage des locaux, ECS et cuisson confondus), la climatisation et les usages spécifiques de l'électricité.

- \* Dans le secteur industriel, on ne considère que les usages thermiques et les usages électriques. C'est, par rapport aux possibilités du modèle MEDEE, une simplification requise par la dimension régionale des prévisions. On pourrait en effet distinguer, parmi les usages thermiques, les usages four, les usages vapeur et les usages chauffage des locaux, mais les estimations région par région de la répartition de ces trois usages dans chacun des sous-secteurs industriels est une tâche difficile à réaliser en raison des lacunes dans l'information statistique (1).

- \* Dans le secteur des transports, quatre usages sont retenus : les usages transport de marchandises, trafic interurbain, trafic urbain et divers (soutes, transports aériens internationaux, ports et pêches). Ces usages ne sont relatifs qu'aux transports effectués dans le cadre national. Pour les régions, les consommations du secteur des transports sont le résultat d'estimations réalisées à partir des prévisions nationales.

- \* Pour le secteur agricole et pour le secteur du bâtiment, l'intermédiaire constitué par l'énergie utile et les usages n'est guère pertinent ; on raisonne directement en termes d'énergie finale, combustibles et carburants agrégés ainsi qu'électricité.

Les diverses catégories de la demande que sont les secteurs utilisateurs, les formes d'énergie et les usages énergétiques sont résumées dans le tableau 4. Dans chaque case sont précisés les types d'usages retenus lors de la formalisation du modèle de simulation. Les calculs de prévision consistent à déterminer la quantité d'énergie utile requise par chaque usage et à transformer ensuite cette énergie utile en énergie finale. La somme des énergies finales correspondant aux divers usages d'une même case restitue par définition la consommation par tel secteur de telle forme d'énergie. Les résultats définitifs sont consignés dans les « bilans en énergie finale » (cf. tableaux de l'annexe I). Par rapport au tableau 4, on a effectué quelques agrégations, soit dans un souci de simplification, soit dans le but de se conformer à la présentation habituelle des bilans. C'est, par exemple, l'agrégation des combustibles et des carburants, et l'agrégation des sous-secteurs industriel et du bâtiment. Ces agrégations sont réalisées ex-post et sont sans incidence sur la méthode proprement dite de prévision.

---

(1) Du moins en ce qui concerne l'information statistique publique.

**TABEAU 4**  
**LES SECTEURS ECONOMIQUES, LES FORMES D'ENERGIE**  
**ET LES USAGES ENERGTIQUES**

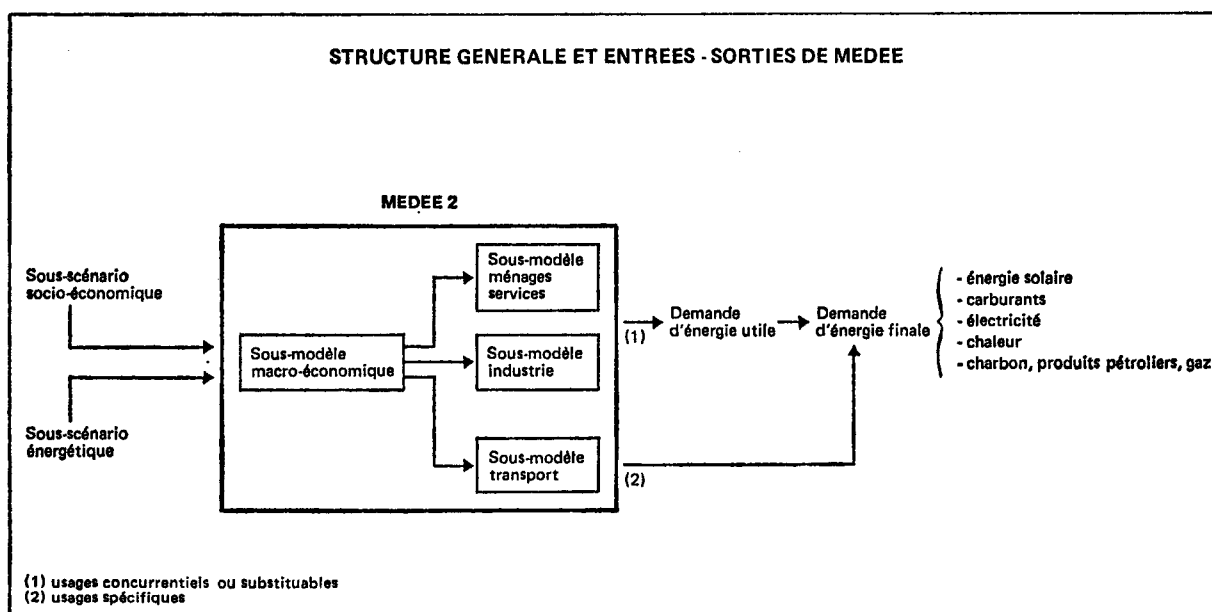
|                                      | Combustibles                            | Carburants  | Electricité                                            | Nouvelles formes d'énergie   |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------|------------------------------|
| Résidentiel Tertiaire                | Usages :<br>chauffage<br>ECS<br>cuisson | —           | Usages :<br>chauffage<br>ECS<br>cuisson<br>spécifiques | Usages :<br>chauffage<br>ECS |
| Agriculture                          | non usages                              | —           | non usages                                             | non usages                   |
| Les quatre sous-secteurs industriels | Usages :<br>thermiques                  | —           | Usages :<br>thermiques<br>électriques                  | Usages :<br>thermiques       |
| Bâtiment                             | non usages                              | —           | non usages                                             | —                            |
| Transports                           | —                                       | tous usages | tous usages                                            | —                            |

## II. LA METHODE DE PREVISION DE LA DEMANDE

### II. 1. LE MODELE DE SIMULATION

Les prévisions de la demande à l'horizon 1985 et 2000 sont obtenues à l'aide du modèle de simulation MEDEE construit à l'IEJE par B. Lapillonne et B. Chateau. Initialement conçu dans le cadre national, ce modèle s'est révélé apte à traiter la question dans un cadre régional, au prix de quelques modifications mineures.

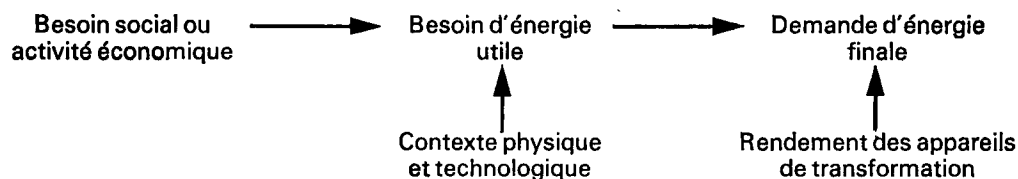
La structure générale du modèle MEDEE est présentée dans le schéma ci-dessous. Ce modèle est entraîné par les indicateurs du sous-scénario économique qui caractérise le développement socio-économique de la



## LA MÉTHODE MÉDÉE (1)

L'approche MÉDÉE se caractérise par un niveau d'appréhension très fin de la demande :

La demande totale est désagrégée en une multitude de demandes élémentaires homogènes (chauffage, cuisson, etc.) dont l'évolution est induite par celle des facteurs socio-économiques et technologiques qui déterminent ces demandes. Ainsi, l'idée de base sur laquelle repose cette approche est l'analyse très fine des facteurs – ou déterminants – qui déterminent à tout niveau la demande d'énergie. L'analyse des mécanismes de formation de la demande d'énergie permet de mettre en évidence les principaux types de déterminants. Toute consommation d'énergie est induite directement par la satisfaction d'un besoin social (chauffage, déplacement...). Pour un besoin ou une activité donnée, le niveau de consommation d'énergie dépend d'une part du contexte technologique et physique dans lequel ce besoin est satisfait (volume des logements, degré d'isolation, type de logements, taille des villes, procédés de fabrication, etc.) ; d'autre part du rendement des équipements de transformation utilisés (chaudière, four, véhicule, etc.). Le schéma suivant montre le jeu respectif des divers déterminants.



Traditionnellement, la demande d'énergie est appréhendée au niveau de l'énergie finale, niveau auquel sont d'ailleurs collectées les statistiques. L'approche MÉDÉE raisonne en termes d'énergie utile pour les usages de l'énergie où peuvent intervenir des substitutions entre produits énergétiques (usages dits « substituables » ou « concurrentiels »). En effet, pour ces usages, un même besoin social ou même niveau d'activité économique, c'est-à-dire un même besoin d'énergie utile, peut conduire à des niveaux de demande d'énergie finale différents selon les produits énergétiques utilisés du fait des différences dans les rendements d'utilisation de l'énergie. Par exemple, pour chauffer un logement collectif de 180 m<sup>3</sup>, bien isolé (C-0,9) dans la région parisienne, correspondant à 5 800 kWh d'énergie utile, il faudra consommer approximativement les quantités suivantes d'énergie finale selon le produit énergétique utilisé (entre parenthèses figurent les rendements considérés) (2) :

- 6 100 kWh avec un chauffage électrique (95%)
- 8 060 kWh avec un chauffage central au gaz (72%)
- 8 660 kWh avec un chauffage central au fuel-oil (67%)
- 8 920 kWh avec un chauffage central au charbon (65%)
- 10 545 kWh avec un chauffage individuel au fuel (55%)
- 11 600 kWh avec un chauffage individuel au charbon (50%).

Dans l'approche MÉDÉE, pour tous les usages substituables, on part des besoins d'énergie utile, définis sur la base des niveaux de besoins sociaux ou d'activités économiques, et on en déduit une demande d'énergie finale par produit énergétique, en tenant compte de la pénétration de chaque produit énergétique sur les marchés concurrentiels et de leur rendement d'utilisation respectif.

Par souci de simplicité, et aussi parce que les rendements énergétiques sont encore mal cernés en valeur absolue, nous raisonnons dans MÉDÉE sur la base de rendements relatifs par rapport à l'usage direct de l'électricité. Donc, lorsque nous parlons du rendement du fuel ou du gaz, il s'agit toujours d'un rendement par rapport à l'électricité, ce qui revient à retenir pour l'électricité un rendement de 1. Le concept d'énergie utile que nous manipulons diffère quelque peu du concept théorique et physique d'énergie utile : il correspond à la quantité d'énergie utilisée par usage direct de l'électricité. Cette simplification ne prête nullement à conséquence car elle permet parfaitement de prendre en compte l'influence des substitutions entre produits énergétiques sur le niveau de la demande finale, ce pourquoi nous avons introduit la distinction énergie utile/énergie finale.

Ce modèle présente, à notre sens, l'avantage de fournir un cadre très souple à l'intérieur duquel il est possible de prendre en compte les conclusions et/ou réflexions d'études prospectives sur l'évolution à long terme de la société (besoins sociaux, transport, aménagement du territoire...) et de calculer leurs conséquences sur la demande d'énergie. Dans cette approche, le scénario apparaît comme le moyen de transcrire une vision qualitative de l'évolution à long terme de la société, élaborée sur la base d'études prospectives multidisciplinaires (...), en des valeurs quantitatives d'évolution des indicateurs de scénario. Le modèle traduit ensuite en termes de demande d'énergie, l'évolution de ces indicateurs. Ce modèle n'est donc pas un outil de prévision à proprement parler, mais plutôt un outil d'exploration du futur, associant à chaque scénario de croissance une évaluation de la demande d'énergie correspondante, et de ce fait, permettant de cerner le champ d'évolution possible de la demande d'énergie.

(1) Comme à plusieurs reprises au sein de ce paragraphe, cette présentation de la méthode MÉDÉE est issue du document rédigé par les deux auteurs du modèle : « La demande d'énergie de la France à l'horizon 2000. Trois scénarios par la méthode MÉDÉE », IEJE, mars 1979. Voir aussi l'ouvrage : « La prévision à long terme de la demande d'énergie », Éditions du CNRS, Paris, juin 1977.

(2) Ces rendements donnés à titre indicatif proviennent de la publication Eurostat, « Bilans en énergie utile en 1975 », Luxembourg 1978, 1 kWh = 860 kcal.



région considérée. MEDEE est composé de quatre sous-modèles : le sous-modèle macro-économique qui calcule le niveau d'activité des différents secteurs productifs, et trois sous-modèles demandeurs d'énergie (transport, ménages et tertiaire, industrie). La demande d'énergie est projetée par le modèle en termes d'énergie utile pour les usages substituables de l'énergie (usages thermiques essentiellement) et en termes d'énergie finale pour les usages captifs de certains produits énergétiques (carburants, électricité). Ensuite, en tenant compte d'hypothèses de pénétration des différentes formes d'énergie finale sur les usages substituables de l'énergie qui leur sont accessibles (hypothèses définies dans le sous-scénario énergétique), la demande d'énergie utile est convertie en demande d'énergie finale.

Les grandes lignes de la méthode de modélisation sont présentées dans un encadré particulier. Soulignons-en les aspects essentiels.

### **II. 1. 1. Le passage par l'énergie utile**

L'énergie utile représente la forme d'énergie réellement désirée par les consommateurs : la chaleur pour le chauffage, la lumière pour l'éclairage, les hautes températures pour un procédé de fabrication, l'énergie mécanique pour un déplacement, etc. Mais cette énergie utile est rarement disponible directement et doit le plus souvent être obtenue par conversion d'un produit énergétique dans un appareil (par exemple combustion de fuel dans une chaudière). C'est ce produit énergétique qui représente l'énergie finale : l'électricité qui alimente la lampe, le fuel que l'on brûle dans une chaudière, la chaleur d'un réseau de chauffage urbain. Pour un besoin en énergie utile donné, la quantité d'énergie finale demandée dépend des pertes engendrées par la transformation du produit énergétique utile, c'est-à-dire du **rendement énergétique** de cette transformation. Ce rendement dépend à la fois du type d'équipement utilisant l'énergie (chaudière, four, moteur...) et du produit énergétique utilisé (électricité, charbon...). Ainsi, à chaque couple équipement/énergie finale peut être associé un rendement : par exemple, 35 % pour moteur/diesel, 75 % pour chaudière/fuel-oil, 75 % pour cuisinière/électricité. Notons enfin que ce rendement est calculé dans MEDEE sur la base de rendements relatifs par rapport à l'usage direct de l'électricité.

### **II. 1. 2. La distinction entre les usages spécifiques et les usages concurrentiels**

Cette distinction est en quelque sorte un corollaire du passage par l'énergie utile. Un calcul en termes d'énergie utile trouve en effet tout son intérêt quand plusieurs équipements et plusieurs formes d'énergie sont en concurrence pour la satisfaction d'un besoin. L'énergie utile devient une mesure calorifique commune que le choix de tel équipement ou de telle forme d'énergie transformera en une mesure particulière de l'énergie finale. En opposition, la mesure directe en termes d'énergie finale s'impose pour les usages spécifiques ou non concurrentiels puisque les possibilités de choix disparaissent. On peut citer pour exemples de tels usages le cas de l'automobile pour laquelle les produits pétroliers constituent encore la forme d'énergie qui s'impose et le cas de tous les usages moteurs et d'éclairage où l'électricité ne trouve pas de concurrent sérieux.

### **II. 1. 3. La décomposition de la demande totale en demandes modulaires**

En vue de mettre clairement en évidence les déterminants de la demande, la demande totale d'énergie est décomposée en demandes partielles correspondant à un certain nombre de modules du système socio-écono-

mique. Le niveau de désagrégation adopté est évidemment variable. Dans la version du modèle MEDEE utilisée ici, la définition des modules prend en compte à la fois le secteur utilisateur, l'usage énergétique et l'équipement choisi (1). Un module du secteur résidentiel est par exemple le chauffage des locaux dans un logement équipé du chauffage central. Dans le secteur des transports, un autre exemple est le transport des marchandises à courte distance par camion. Pour l'ensemble des secteurs, une vingtaine de modules ont été définis.

Ces modules sont à la base de la formalisation mathématique du modèle de simulation. Après avoir repéré la nature des facteurs qui déterminent l'évolution à long terme de la demande d'énergie utile au sein de chaque module, on établit un ensemble de relations dans lesquelles interviennent les variables endogènes et exogènes qui correspondent à ces déterminants et également des coefficients et des paramètres qui spécifient numériquement les relations. Les itérations du modèle consistent à résoudre de période en période la série d'équations qui décrivent l'évolution dans le temps de la consommation d'énergie (2).

## **II. 2. LES COEFFICIENTS ET LES PARAMETRES DU MODELE DE SIMULATION**

Le nombre de coefficients et de paramètres à déterminer pour l'ensemble des prévisions de demande avoisine 5 000. Pour une année, une région et un scénario, on en compte environ une centaine. Même si certains gardent une valeur constante dans toutes les itérations du modèle, il ne peut être question ici de préciser le mode de détermination pour chacun d'eux. On doit se contenter d'indiquer la méthode générale — le principe du chiffrage — et de ne donner quelques précisions que pour les coefficients et paramètres les plus importants.

### **II. 2. 1. La nature des coefficients et des paramètres**

La liste complète des coefficients et paramètres utilisés dans le modèle de simulation est donnée dans l'annexe III. Elle est divisée en 11 rubriques homogènes :

- \* la population
- \* l'économie
- \* les logements du secteur résidentiel
- \* les locaux du tertiaire
- \* le chauffage des logements
- \* le chauffage des locaux du tertiaire
- \* les besoins d'eau chaude sanitaire
- \* les besoins de cuisine
- \* la consommation spécifique du résidentiel-tertiaire
- \* l'industrie
- \* les transports

(1) Une version plus détaillée, appelée MEDEE 3, a été conçue pour appréhender la demande d'énergie à un niveau beaucoup plus fin. Cette version est actuellement opérationnelle et est utilisée pour prévoir les consommations d'énergie des pays de la Communauté.

(2) Pour une description complète du modèle MEDEE 2, en particulier la spécification des relations, on renvoie à deux documents.

— « MEDEE 2. A model for long term energy demand ». B. Lapillonnerie. International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Austria, décembre 1978.

— Une description simplifiée de ce modèle ainsi que deux cas d'application (Etats-Unis et France) sont présentés dans « Prévisions et préparations aux décisions en matière énergétique ». B. Laplonche, CEA DPg E/78, Paris, 1978 (pp. 55 à 80).

## 1) LA POPULATION

La population de la France est fixée dans les trois scénarios à 54,7 millions en 1985 et 58 millions en 2000 (hypothèses de l'INSEE avec un taux de fécondité bas).

La ventilation régionale de cette population varie selon les scénarios en fonction des hypothèses sur le développement économique des régions et sur les orientations données à la politique d'aménagement du territoire (cf. tableau 8 de l'annexe II) (1).

## 2) L'ECONOMIE

Le PIB national en 1985 et 2000 est calculé à l'aide des taux de croissance qui figurent dans le tableau 2. La structure de ce PIB selon les scénarios a été déterminée par une procédure assez longue qui fait l'objet de l'annexe II (2). Interviennent dans ces calculs :

- les niveaux d'emploi en 1975, 1985 et 2000 ;
- la structure de 1985 donnée par les comptes de la Nation ;
- des hypothèses de productivité de l'emploi.

La part de chaque secteur est le résultat d'itérations et de tâtonnements successifs, rendus nécessaires pour vérifier la plausibilité de l'ensemble ainsi que la cohérence avec les hypothèses de chaque scénario.

— Dans le scénario I, et en 2000, la part de l'industrie baisse de 2,5 points par rapport à 1975 et celle du BTP de 1,8 point, pertes qui s'opposent à l'augmentation de 4,2 points de la valeur ajoutée du tertiaire. Au sein de l'industrie, les baisses les plus sensibles sont celles des industries des biens intermédiaires et des biens de consommation, compensées par le net progrès des industries des biens d'équipement et, à un moindre degré, des industries agro-alimentaires.

— Dans le scénario II, l'industrie améliore au contraire globalement sa position (29,5 % du PIB en 2000 contre 28,6 % en 1975). La structure inter-industrielle est proche de celle du scénario I, les biens d'équipement gagnant encore cependant quelques points au détriment des biens de consommation et des IAA. A l'opposé, la part des services est à peine plus élevée en 2000 qu'en 1975 (53,7 % contre 53,1 %).

— Dans le scénario III, toutes les tendances précédentes sont accentuées : l'industrie fournit 34,8 % du PIB et le tertiaire seulement 48,7 %. Les biens d'équipement progressent de nouveau par rapport au scénario II et atteignent 40,8 % de la valeur ajoutée industrielle. Mais, rappelons que ce troisième scénario est établi sur la base d'un taux de croissance de l'économie de seulement 3 % contre 4,5 % dans les scénarios I et II.

Quant aux décompositions régionales, on a considéré chaque secteur l'un après l'autre. Connaissant les prévisions d'emploi régional en 2000, on y a ajouté des hypothèses sur les différences de productivité inter-régionales :

- amplification dans le scénario I des disparités régionales observées en 1975 (polarisation de l'activité économique dans la Région Parisienne et en Rhône-Alpes) ;
- réduction de cette disparité dans le scénario III en fixant des rapports de productivité région-nation identiques pour toutes les régions, sauf pour la Région Parisienne qui conserve encore une légère avance ;

(1) On a retenu l'hypothèse de l'INSEE sur le niveau de population en 2000 de préférence à celle de l'étude Fouribies (60 millions). Au regard de l'évolution démographique actuelle, l'hypothèse basse (58 millions) semble plus vraisemblable.

(2) La plupart des hypothèses relatives à cette rubrique sont issues des scénarios d'emploi. Comme les prévisions de la demande d'énergie dans les secteurs industriels sont fondées sur des indicateurs économiques (valeurs ajoutées) et non sur des indicateurs d'emploi, on doit au préalable réaliser le passage des uns aux autres, et c'est l'objet de cette annexe que de l'expliquer.

— situation intermédiaire dans le scénario II.

On en déduit les valeurs ajoutées régionales du secteur concerné. Les PIB régionaux sont alors calculés par la somme des valeurs ajoutées de tous les secteurs (cf. annexe). Quelques corrections à la marge sont effectuées pour faire coïncider le PIB national déterminé par le taux de croissance global de l'économie et d'addition des PIB régionaux.

Les résultats de ces calculs apparaissent dans le tableau suivant.

**TABLEAU 5**  
**TAUX DE CROISSANCE ANNUELS DES PIB REGIONAUX ENTRE 1975 ET 2000**  
**PART DES REGIONS DANS LE PIB NATIONAL EN 1975 ET EN 2000**

| %                 | Taux de croissance |            |             | Part des régions |           |            |             |
|-------------------|--------------------|------------|-------------|------------------|-----------|------------|-------------|
|                   | 2000<br>I          | 2000<br>II | 2000<br>III | 1975             | 2000<br>I | 2000<br>II | 2000<br>III |
| Région Parisienne | 4,3                | 3,8        | 1,5         | 29,9             | 28,7      | 25,4       | 20,7        |
| Bassin Parisien   | 5,0                | 5,0        | 3,4         | 16,4             | 18,6      | 18,7       | 16,2        |
| Nord              | 4,0                | 4,6        | 3,3         | 6,9              | 6,3       | 7,1        | 7,4         |
| Est               | 4,2                | 4,5        | 3,2         | 8,9              | 8,2       | 9,0        | 9,4         |
| Ouest             | 4,3                | 4,9        | 4,1         | 9,8              | 9,3       | 10,8       | 12,9        |
| Sud-Ouest         | 4,2                | 4,6        | 3,9         | 7,2              | 6,7       | 7,3        | 9,1         |
| Massif Central    | 4,1                | 4,3        | 3,7         | 3,1              | 2,9       | 3,0        | 3,7         |
| Rhône-Alpes       | 5,0                | 4,8        | 2,9         | 9,3              | 10,6      | 10,0       | 9,3         |
| Méditerranée      | 4,5                | 4,0        | 3,3         | 8,5              | 8,7       | 8,7        | 9,3         |
| France            | 4,5                | 4,5        | 3,0         | 100,0            | 100,0     | 100,0      | 100,0       |

On repère aisément dans les trois scénarios la position de chaque région par rapport à la moyenne nationale, les régions qui bénéficient d'une situation favorable et celles qui, au contraire, connaissent un développement plus lent.

Soulignons que ces prévisions de valeur ajoutée servent principalement à calculer les consommations énergétiques du secteur industriel, du BTP et du secteur agricole. Les consommations de ces secteurs sont en effet proportionnelles à leur valeur ajoutée, un certain nombre de coefficients (intensité énergétique des procédés, gains de productivité) intervenant comme pondérateurs dans le rapport. Dans les autres secteurs, les prévisions de consommations reposent sur d'autres bases.

### 3) LES LOGEMENTS RESIDENTIELS ET LES LOCAUX DU TERTIAIRE

La structure du parc de logements en 1975 est établie sur la base des statistiques de l'INSEE. Son évolution dépend de l'expansion démographique, de la part respective des maisons individuelles et des immeubles collectifs (part des maisons individuelles plus grande dans le scénario I que dans les scénarios II et III) et du nombre d'emplois dans le tertiaire (là encore, priorité de I sur II et III).

### 4) LE CHAUFFAGE DES LOGEMENTS DU SECTEUR RESIDENTIEL ET DES LOCAUX DU SECTEUR TERTIAIRE

Les quantités d'énergie utile requises pour le chauffage du secteur résidentiel dépendent des caractéristiques de chaque type de logements

ainsi que des consommations unitaires. Ces consommations sont en rapport direct avec le nombre de degrés-jours annuels (1). L'arbitrage du choix entre les deux formes d'énergie, combustibles et électricité, est rendu par le paramètre appelé « taux de pénétration de l'électricité dans le chauffage des logements ».

Le passage de l'énergie utile à l'énergie finale est assuré par l'intermédiaire du rendement moyen des installations. Pour ce qui est du chauffage des locaux du tertiaire, la méthode de calcul utilisée est très proche, les catégories de logements étant remplacées par la surface des locaux. Les principales spécifications à faire sont les suivantes :

— Les taux de réduction des besoins de chaleur dans les logements antérieurs à 1975 progressent en passant du scénario I au scénario III.

— Le coefficient d'isolation pour les logements postérieurs à 1975 suit l'évolution inverse ; en III, tous les logements neufs ont des normes d'isolation équivalentes à celles des logements équipés de chauffage électrique. La modulation régionale est réalisée sur la base des zones climatiques : meilleure isolation dans les zones à climat rigoureux.

— Le rendement moyen des combustibles augmente de 1975 à 2000 et de I à III sous l'effet d'incitations aux mesures d'économie d'énergie. Ce rendement n'est pas modulé selon les régions.

— Le taux de pénétration de l'électricité est près de deux fois plus fort en II qu'en I et en III, en accord avec les hypothèses sur le développement du programme électro-nucléaire. Ce taux est modulé en fonction des statistiques régionales de chauffage électrique publiées par EDF.

En ce qui concerne les nouvelles formes d'énergie, on se reportera au chapitre consacré à l'offre d'énergie et aux annexes correspondantes. Leur taux de pénétration est maximum pour le scénario III et quasi nul pour le scénario I.

## 5) LES BESOINS D'EAU CHAUDE SANITAIRE

Les hypothèses sont très voisines des précédentes :

— forte pénétration de l'électricité dans le scénario II ;

— pénétration des nouvelles formes d'énergie renforcée en III.

## 6) LES BESOINS DE CUISINE

Ces besoins sont relativement faibles par rapport au chauffage et à l'ECS. Aucune modulation régionale n'est introduite. En 2000, l'électricité couvre 50 % des besoins en II, contre 40 % en I et seulement 30 % en III (23 % en 1975).

## 7) LA CONSOMMATION SPECIFIQUE DE L'ELECTRICITE DANS LES USAGES DU RESIDENTIEL-TERtiaIRE

C'est une variable importante du modèle en raison du poids des consommations du secteur résidentiel-tertiaire dans le total de la consommation d'électricité. Pour le secteur résidentiel seul, c'est une variable liée au mode de vie qui prévaut dans une société à un moment donné (taux d'équipement ménager hors moyens de chauffage et ECS...) et également au revenu des ménages. En accord avec la logique des scénarios, le nombre de kWh consommés par logement a été fixé en 2000 à un niveau plus élevé en I qu'en II (4 000 kWh contre 3 600 kWh). En 1985, ce niveau est le même pour les deux scénarios (2 500 kWh). On suppose, dans le cadre du scénario III, que c'est un niveau de saturation que les ménages

(1) On appelle nombre de degrés-jours d'une journée la différence entre la température intérieure des logements chauffés à une température de référence de 20° C et la température moyenne extérieure corrigée de la journée considérée. Le nombre de degrés-jours annuels est la somme des degrés-jours d'une journée pendant toute la période de chauffage des logements (15 octobre - 15 avril environ).

pourraient atteindre dans les années 1985-1995. La climatisation n'est prévue que dans les régions Sud-Ouest et Méditerranée (touchant 5 % des logements en I et 2 % en II).

Ce surcroît de consommation d'électricité (+ 250 kWh et + 500 kWh répartis sur l'ensemble des ménages de ces régions) s'ajoute à la consommation spécifique d'électricité de ces deux régions.

Quant au tertiaire, les niveaux de saturation sont atteints dès 1985 (entre 70 et 90 kWh/m<sup>2</sup> de locaux). Un écart d'environ 15 kWh/m<sup>2</sup> sépare la consommation de la Région Parisienne, du Bassin Parisien, de Rhône-Alpes et de la Méditerranée de celle des autres régions.

## 8) L'INDUSTRIE

Pour tenir compte des différences interrégionales constatées en 1975 dans la structure industrielle, les consommations d'énergie utile et d'électricité spécifique par unité de valeur ajoutée des quatre sous-secteurs sont variables de région à région. En revanche, tous les autres coefficients restent constants (1). On introduit une amélioration du rendement moyen des combustibles quand on passe du scénario I au scénario III et on suppose que les changements de procédés industriels prévus en III réduisent de 20 % les besoins d'énergie utile, alors que l'incidence des mesures d'économie d'énergie escomptées en I et II n'exercent qu'un effet de réduction de 10 à 15 % sur ces besoins. Les taux de pénétration de l'électricité sont comme précédemment plus forts en II qu'en I et III.

## 9) LES TRANSPORTS

Pour de nombreuses raisons, aussi bien théoriques que pratiques, il s'est avéré difficile de déterminer les volumes de consommation utilisés par chaque région dans les différents modes de transport. On s'est limité au cas de la France tout entière en adoptant comme prévision les résultats fournis par les itérations du modèle de simulation (2). Quant à la régionalisation de ces prévisions, on a retenu une règle de répartition simple : les consommations nationales d'essence, de gas-oil et d'électricité sont ventilées selon les régions proportionnellement à leur population de 1985 ou 2000, et les consommations de carbu-réacteur et des soutes le sont d'après la ventilation observée en 1975. Ex-post, les erreurs correspondant à cette clé de répartition ne dépassent pas 5 - 10 %.

A l'échelon national, les principales hypothèses concernent, quand on passe du scénario I au scénario III :

- la réduction sensible de la mobilité longue distance,
- l'augmentation du nombre de personnes par voiture,
- une part grandissante du trafic marchandises assuré par voie ferrée,
- une substitution progressive des moyens individuels de transport par des moyens collectifs de transport.

Le scénario II se situe dans une position intermédiaire entre I et III.

(1) Sauf un, la part des rejets thermiques et de la cogénération industrielle en 2000 dans le scénario III.

(2) Les études sur les transports dans les diverses régions sont relativement nombreuses, tout spécialement en ce qui concerne les transports urbains.

— **Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire (Direction des transports terrestres).** Les principaux réseaux de transports collectifs urbains de province. Informations statistiques. Paris, service des transports urbains, juin 1977, 36 p.

— **Centre d'Études des Transports Urbains - CETUR.** Evolution des caractéristiques des déplacements en milieu urbain entre 1966 et 1973. Paris, Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire, 1977, 256 p.

— 2000. Transports urbains 1990, n° 31, 1975, 64 p.

— **Servant (L.) :** L'amélioration des transports urbains. Expériences françaises et étrangères. Notes et études documentaires. La Documentation Française, n° 4473, juillet 1978, 156 p. Mais ce sont généralement, soit des informations statistiques sur l'évolution passée des modes de transports, leur fréquence d'utilisation, les distances moyennes parcourues, etc., soit le résultat d'expériences tentées ici ou là. Peu d'études se hasardent à des prévisions, surtout à long terme. Quand elles s'y risquent, c'est dans une optique de prospective et il est impossible d'intégrer toutes leurs conclusions dans le genre d'étude poursuivie ici.

## **II. 2. 2. Le mode de quantification des coefficients et des paramètres**

L'opération de quantification consiste à donner aux coefficients et aux paramètres retenus dans la formalisation du modèle de simulation des valeurs numériques qui soient, pour l'année de départ 1975, en accord avec la réalité observée, et pour les deux années horizon de la période de prévision, en accord avec les hypothèses adoptées lors de la construction des trois scénarios. C'est la traduction détaillée de toutes les spécifications qui permettent de déterminer les prévisions de consommations d'énergie. Le mode de quantification précise la démarche adoptée lors de cette opération.

Les 5 000 coefficients et paramètres ne sont pas en effet indépendants les uns des autres. Ils sont liés par la dimension temporelle, par la dimension spatiale et par l'ordonnance des scénarios. Autrement dit, pour un paramètre donné, la valeur qu'il peut prendre en 1985 ou 2000 doit être en rapport avec celle qu'il a prise en 1975 : sa valeur dans une région particulière doit être en accord avec les valeurs retenues pour les autres régions et pour la France entière ; enfin, d'un scénario à l'autre, sa valeur doit respecter les différences introduites dans les corps d'hypothèses. C'est cette triple cohérence qu'il faut respecter dans le chiffrage.

On peut y parvenir en suivant la démarche suivante :

- caler le modèle pour la France entière et pour chacune des régions en 1975,
- calculer les prévisions nationales à l'horizon 1985 et 2000 à l'aide de coefficients et paramètres définis pour la France entière,
- calculer les prévisions régionales en déduisant la valeur des coefficients et paramètres régionaux de leur valeur prise à l'échelon national. Ces trois étapes sont précisées dans l'encadré « La validation du modèle de simulation ». Insistons surtout sur les conclusions.

### **a) LE CALAGE NATIONAL ET LES CALAGES REGIONAUX EN 1975**

Cette première épreuve de validation du modèle s'avère positive. En adoptant pour la plupart des paramètres techniques (rendements des appareils énergétiques...) une valeur commune pour toutes les régions (celle qui résulte du calage pour la France entière) et en régionalisant les coefficients et paramètres qui doivent nécessairement l'être (population, valeur ajoutée...), on constate que pour la plupart des régions, l'ordre de grandeur des écarts relatifs entre la réalité et le modèle tourne autour de 3 % - 7 % et que la somme des résultats régionaux est très proche des résultats du modèle national.

### **b) LES PREVISIONS NATIONALES A L'HORIZON 1985 - 2000**

Les prévisions nationales sont analysées dans leur signification propre, c'est-à-dire en examinant la plausibilité des divers niveaux de consommation aux deux horizons 1985 et 2000, et également dans leur cohérence avec les hypothèses socio-économiques des trois scénarios. La comparaison avec d'autres travaux de prévision permet en outre de repérer les ressemblances et les dissemblances.

### **c) LA COHERENCE ENTRE LES PREVISIONS NATIONALES ET REGIONALES**

Les résultats des itérations du modèle de simulation ont confirmé la cohérence entre prévisions nationales et régionales ex-post de façon très

(1) Les statistiques régionales de consommation d'énergie de 1975 sont issues de l'annuaire du CEREN.  
\* Consommations apparentes d'énergie par grand secteur et par branche d'activité industrielle \*.  
Quelques modifications sont introduites en vue de se conformer au découpage sectoriel présenté en 1.1.

## LA VALIDATION DU MODÈLE DE SIMULATION

### 1 – LE CALAGE DU MODÈLE EN 1975

Ce calage a pour but de retrouver pour l'année de départ et à l'aide du modèle de simulation les mêmes résultats que ceux enregistrés effectivement en cette année-là. On s'efforce de vérifier que le modèle représente correctement la réalité, qu'il simule ex-post avec une précision acceptable ce qui s'est passé dans l'année de référence. Si la vérification est positive, on peut passer au calcul de prévision, évidemment avec toutes les précautions nécessaires pour s'assurer que le passage d'une année passée à une année future a quelque validité. Si elle est négative, on est amené à revoir, soit la formalisation de certaines relations, soit la quantification de certains paramètres.

Ce calage dans le temps se double ici d'un calage dans l'espace. En plus de celui effectué pour la France entière, il faut en effet vérifier que le calage est adéquat pour chacune des 9 régions ZEATMOD, c'est-à-dire que le modèle restitue bien les consommations *régionales* de l'année de base 1975. Cette étape supplémentaire de vérification a une contrepartie positive en ce sens que, si les calages régionaux sont réalisés sans changer la nature des liaisons entre les variables mais simplement en modifiant la valeur des paramètres, le degré de validation du modèle de simulation s'en trouve renforcé : le modèle appréhende aussi bien la réalité nationale que la réalité régionale. On peut donc dire qu'il appréhende bien la réalité des phénomènes de consommation énergétique, au moins si on reste à un niveau d'agrégation suffisant. La qualité des ajustements en l'année de départ entre résultats théoriques et empiriques est une condition de la qualité des prévisions. Ce n'est bien sûr pas la seule.

### 2 – LES PRÉVISIONS NATIONALES A L'HORIZON 1985-2000

Bien que l'objectif de l'étude soit au premier chef le calcul des prévisions régionales, l'intermédiaire que constituent les prévisions nationales s'impose pour des raisons de cohérence et de fiabilité des prévisions. Leur détermination à l'échelon régional n'a, à notre connaissance, jamais été réalisée (ou publiée). C'est un sujet neuf et on manque de points de référence. Les seules prévisions qui existent sont relatives au cadre national et à cet échelon le calcul reste un exercice moins périlleux : l'évolution de la société française dans son ensemble se discerne mieux que l'évolution de chacune des régions, les déterminants essentiels (population, PIB, structure industrielle, etc.) sont plus facilement mesurables, les hypothèses sur la percée de telle ou telle forme d'énergie prennent davantage de consistance dans un ensemble plus large. En bref, s'impose la nécessité de disposer d'un guide (ou d'un garde-fou) pour les prévisions régionales et le plus immédiat est celui que forment les prévisions nationales.

### 3 – LES PRÉVISIONS RÉGIONALES

Le calcul des prévisions nationales débouchent pour les deux années horizon et pour les trois scénarios sur la constitution d'une base nationale de coefficients et paramètres, à partir de laquelle on peut passer à la détermination des valeurs régionales. C'est l'étape appelée *modulation régionale* des données d'entrée du modèle de simulation. Elle est conduite en suivant plusieurs directions : tantôt, on impose une cohérence d'ordre purement arithmétique, par exemple, la somme des PIB régionaux est égale au PIB national ou la population de la France entière est l'addition des populations régionales ; tantôt, on est guidé par des considérations d'ordre climatique (régions à climat rigoureux, tempéré et chaud), par exemple, pour la détermination des taux de pénétration de l'énergie solaire ou des pompes à chaleur ; tantôt, on tient compte de certaines spécificités régionales, comme le rapport de la densité des agglomérations d'une région à la densité moyenne nationale. Sans oublier le cas où le coefficient est le même pour toutes les régions, soit par définition (rendements des combustibles, par exemple), soit par nécessité de simplification (taux de pénétration de certaines énergies, efficacité des processus et des équipements énergétiques...).



satisfaisante puisque, pour un secteur et une forme d'énergie donnés, la somme des neuf prévisions régionales est en général très proche de la prévision obtenue à l'aide des coefficients et des paramètres nationaux. La seule exception notable est la prévision de la consommation d'électricité du secteur industriel en 2000 dans les scénarios II et III où subsiste entre les deux résultats un écart d'environ 10 TWh, l'élément d'explication résidant essentiellement dans les différences souvent très grandes entre la structure moyenne nationale des sous-secteurs industriels et la structure particulière de chaque région. Ce rare exemple ne nous a pas semblé justifier un nouveau chiffrage des coefficients, d'autant plus que cet écart de 10 TWh reste certainement très en deçà de la marge d'erreur liée à toute méthode de prévision à long terme. Les résultats nationaux doivent donc dorénavant tous se comprendre comme l'addition de prévisions régionales.

### **III. LES PREVISIONS DE CONSOMMATIONS D'ENERGIE A L'HORIZON 1985 ET 2000**

Les résultats complets des calculs de prévision de consommation et d'offre d'énergie sont donnés dans les tableaux situés dans l'annexe I. Ce sont des bilans régionaux contenant d'un côté le total de la consommation finale ventilée selon les secteurs et selon les formes d'énergie, et de l'autre le total des disponibilités décomposé en apport d'énergies locales et régionales et en apport d'énergies nationales ou importées. Sous cette forme, ces bilans montrent bien comment se réalise à l'échelon de chaque région l'équilibre entre l'offre et la demande d'énergie finale, et de quelle façon énergie électrique et combustibles nationaux ou importés viennent compléter les disponibilités locales en vue d'opérer l'ajustement.

Le nombre élevé de résultats (50) et la quantité d'informations qu'ils contiennent interdisent pratiquement une analyse particulière de chacun d'eux. La présentation des résultats doit être plus globale et le commentaire s'appuyer sur quelques sous-ensembles plus synthétiques.

L'analyse des prévisions de consommations et réalisée à deux niveaux :

- les prévisions d'ensemble,
- les prévisions par forme d'énergie (1).

A chacun de ces deux niveaux, on analyse les résultats nationaux et les résultats obtenus dans les neuf régions, et cela dans le cadre des trois scénarios I, II et III, et pour les deux horizons de la période de prévision, 1985 et 2000. On pense de cette façon faciliter les comparaisons, d'une part entre les trois scénarios, d'autre part entre les deux années de la période de prévision, et montrer comment les contrastes introduits tant pour 1985 que pour 2000 dans les hypothèses économiques et énergétiques de ces scénarios se traduisent en termes de consommations d'énergie. La recherche des oppositions ou des ressemblances pourra révéler certains faits marquants et certaines tendances significatives.

En outre, on a veillé à ne pas trop dissocier les résultats nationaux des résultats régionaux, et ce pour plusieurs raisons d'ordre méthodologique :

- Ces deux ensembles de résultats sont issus du même modèle de

(1) L'analyse des prévisions selon les secteurs utilisateurs est reportée en annexe IV. On y présente les principaux résultats du modèle de simulation pour les secteurs résidentiel-tertiaire, industriel, agricole et des transports.

simulation et un degré satisfaisant de cohérence doit exister entre les prévisions pour la France entière et la somme des prévisions régionales ;

— Ces prévisions régionales ne bénéficient d'une certaine validité que dans la mesure où elles sont considérées dans leur ensemble, les unes par rapport aux autres (1). Cela découle directement de la méthode de chiffrage des données économiques et énergétiques.

Les prévisions qui seront présentées à ces deux niveaux sont en règle générale des résultats directs du modèle de simulation, sauf pour les nouvelles formes d'énergie dont les consommations font parfois l'objet de calculs séparés, en raison de la difficulté qu'il y aurait à les formaliser dans le cadre d'un modèle. C'est le cas de la biomasse, de la géothermie, des effluents industriels et de la récupération des déchets. Les consommations correspondantes, une fois transformées en énergie finale, sont déduites des consommations de combustibles issues du modèle de simulation. Le cas du chauffage urbain et des centrales chaleur-force pose des problèmes plus complexes puisque la déduction doit s'opérer aussi bien par rapport aux combustibles que par rapport à l'électricité. Des annexes particulières précisent tous ces points.

Enfin, pour le calcul de la demande totale, on a adopté, en général, l'équivalence de l'électricité à la consommation, soit **1 TWh = 0,086 Mtep**. On se situe ici au stade de l'énergie finale, c'est-à-dire l'énergie effectivement reçue par les utilisateurs, et l'on reporte au chapitre suivant les résultats et les commentaires relatifs à l'énergie primaire. Cette convention n'est pas sans répercussion sur l'analyse des prévisions. Elle peut atténuer ou au contraire amplifier les conclusions que l'on tire sur la nature des substitutions entre formes d'énergie et sur les écarts de consommation entre les régions. Mais c'est une convention qui s'impose dans l'étude des utilisations finales de l'énergie.

### III. 1. LES RESULTATS D'ENSEMBLE

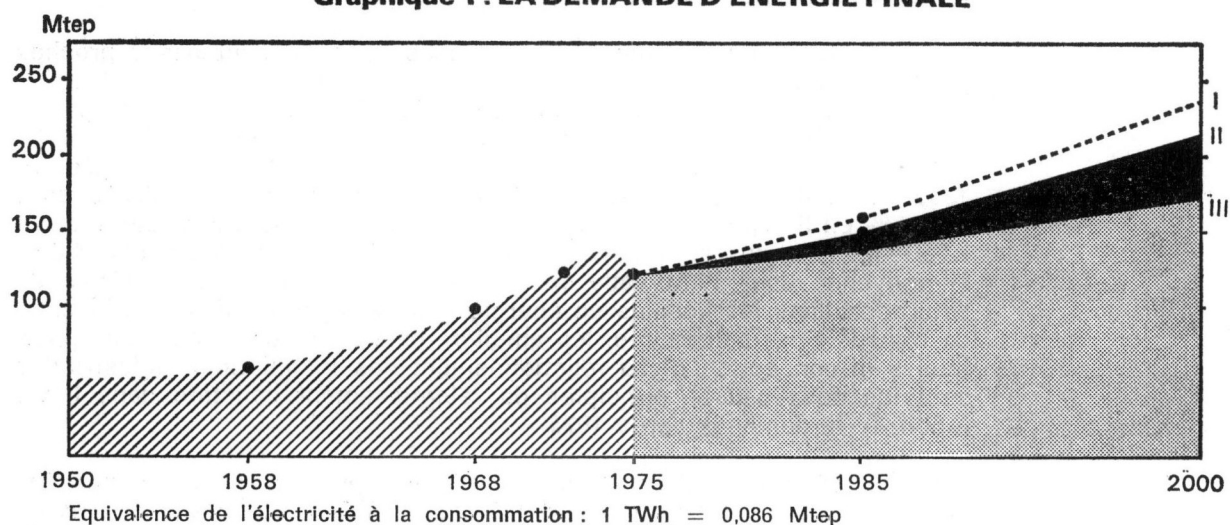
#### III. 1. 1. Les résultats nationaux

Pour la France entière, c'est-à-dire pour l'ensemble des régions, les prévisions de demande d'énergie sont présentées dans les tableaux 6 et 7 et dans le graphique 1. La demande totale, au sens de la somme des utilisations finales à l'exclusion des transformations et des pertes, est ventilée selon les secteurs industrie, résidentiel-tertiaire, agriculture et transports. Les prévisions en 1985 et 2000 dans le cadre des scénarios I, II et III sont complétées par les réalisations des trois années 1958, 1968 et 1975. Le tableau 6 est construit en adoptant pour l'électricité l'équivalence à la consommation ; il servira de support à l'analyse des résultats. Le tableau 7 utilise au contraire l'équivalence à la production ; son intérêt est de montrer l'ampleur des modifications qui surviennent dans les demandes sectorielles et totales quand on retient cette équivalence à la place de l'autre. Entre deux valeurs situées à la même place dans chaque tableau, plus la part de l'électricité est grande par rapport aux autres formes d'énergie, plus l'écart est important.

Trois enseignements se dégagent du tableau 6. Ils concernent le volume de la demande totale, le rapport de l'évolution de la demande avec celle du PIB et la structure selon les secteurs utilisateurs.

(1) On a assez peu examiné, en ce qui concerne la demande, les conditions locales et particulières de telle ou telle région : projets d'implantations industrielles, projets de construction de nouveaux moyens de transport (métro...). Quand l'information existe, on constate que l'incidence de ces projets est souvent faible en raison de la grande taille des régions retenues.

**Graphique 1 : LA DEMANDE D'ÉNERGIE FINALE**



**TABLEAU 6**

**LES UTILISATIONS FINALES DE L'ÉNERGIE**  
**ÉVOLUTION PASSÉE ET PRÉVISIONS EN 1985 ET 2000**  
 Equivalence de l'électricité à la consommation

| Mtep<br>1 TWh = 0,086 Mtep | REALISATIONS |      |      | PREVISIONS |     |      |     |     |
|----------------------------|--------------|------|------|------------|-----|------|-----|-----|
|                            | 1958         | 1968 | 1975 | 1985       |     | 2000 |     |     |
|                            |              |      |      | I          | II  | I    | II  | III |
| Industrie                  | 30           | 39   | 45   | 52         | 57  | 95   | 103 | 79  |
| Résidentiel-Tertiaire      | 19           | 36   | 45   | 58         | 52  | 72   | 62  | 58  |
| Agriculture                | 1            | 2    | 2    | 3          | 3   | 6    | 5   | 4   |
| Transports                 | 13           | 21   | 31   | 42         | 38  | 65   | 53  | 35  |
| Total utilisations finales | 63           | 98   | 123  | 155        | 150 | 238  | 223 | 176 |

**TABLEAU 7**

**LES UTILISATIONS FINALES DE L'ÉNERGIE**  
 Equivalence de l'électricité à la production

| Mtep<br>1 TWh = 0,222 Mtep | REALISATIONS |      |      | PREVISIONS |     |      |     |     |
|----------------------------|--------------|------|------|------------|-----|------|-----|-----|
|                            | 1958         | 1968 | 1975 | 1985       |     | 2000 |     |     |
|                            |              |      |      | I          | II  | I    | II  | III |
| Industrie                  | 33           | 49   | 55   | 65         | 73  | 123  | 138 | 99  |
| Résidentiel-Tertiaire      | 20           | 39   | 55   | 76         | 71  | 103  | 93  | 76  |
| Agriculture                | 1            | 2    | 3    | 3          | 3   | 7    | 6   | 4   |
| Transports                 | 13           | 21   | 32   | 44         | 39  | 67   | 55  | 38  |
| Total utilisations finales | 67           | 111  | 145  | 188        | 186 | 300  | 292 | 217 |

#### a) LA DEMANDE TOTALE

On constate que les volumes de demande en 1985 sont assez proches pour les scénarios I et II (respectivement 155 et 150 Mtep) et qu'un écart de 15 Mtep sépare les prévisions à l'horizon 2000 (238 Mtep pour I contre 223 Mtep pour II). La différence de 27-32 Mtep entre 1975 et 1985 représente un taux annuel d'augmentation de 2 % à 2,3 %, alors qu'entre 1985 et 2000 ce taux progresse légèrement pour atteindre 2,9 % en I et 2,7 % en II (1). Malgré cette hausse en fin de période, ces taux restent inférieurs aux taux enregistrés au cours des années passées, soit 4,8 % en moyenne dans l'intervalle 1958-1975. L'apparition de phénomènes de saturation dans les besoins en énergie des ménages ou dans les besoins de transport par automobile, les améliorations de nature technique apportées à la conception et au fonctionnement des installations industrielles sont les deux causes principales du ralentissement constaté dans l'évolution de la demande après 1975.

Pour le scénario III, le ralentissement par rapport aux années passées est plus sensible encore puisque 176 Mtep en 2000 signifient un taux de croissance, sur 25 ans, de 14 % par an. L'écart avec le premier scénario (environ 60 Mtep) est particulièrement net, c'est-à-dire qu'une « nouvelle croissance » caractérisée par de nouveaux modes de production et de nouveaux modes de consommation, énergétiques ou autres, permet de réduire le volume de la demande d'énergie finale d'une quantité presque égale à la demande de la fin des années cinquante. L'économie est massive et s'explique aussi bien par la réduction des consommations unitaires (à degré de satisfaction ou de bien-être constant) que par une meilleure adéquation entre les usages énergétiques et les formes d'énergie.

#### b) LE RAPPORT ENTRE ENERGIE ET PIB

La comparaison des évolutions de la demande d'énergie et du PIB montre que le sentier de la croissance économique et le sentier de la demande énergétique ne sont pas nécessairement parallèles, que des cheminements différenciés peuvent naître dans le futur à partir d'une trace identique dans le passé et que sur un laps de temps de 10, 15 ou 25 ans le poids des changements politiques et économiques ou la force des innovations ont la possibilité d'orienter diversement l'évolution à venir de la demande. Inversement, un même niveau de demande peut être le résultat de scénarios économiques dissemblables. Dans le cas présent, c'est bien la situation constatée pour 1985 où les demandes totales sont proches dans les scénarios I et II, alors que les taux de croissance du PIB ont respectivement pour valeur 3 % et 3,5 %, et que la composition sectorielle du PIB n'est pas la même (part des services plus grande et part de l'industrie plus faible en I qu'en II). Au contraire, en 2000, les demandes totales sont différentes en I et II alors que le taux de croissance du PIB est le même (4,5 %). Si elle comporte un degré de rigidité assez élevé à court terme, la liaison économie-énergie est susceptible d'une flexibilité appréciable à moyen et long terme. L'un des cheminements n'est pas nécessairement homothétique à l'autre, et se fonder uniquement sur l'évolution du taux de croissance du PIB pour obtenir celui de la consommation d'énergie risque de conduire à des résultats erronés.

#### c) LA STRUCTURE DE LA DEMANDE

La structure de la demande selon les secteurs diverge sensiblement selon les scénarios et les horizons. Le tableau 8 indique les parts de chacun d'eux dans la demande totale.

(1) Avec l'équivalence à la production, ces écarts sont nettement atténués, ce qui indique une contribution de l'électricité différente en I et II.

**TABLEAU 8**  
**PART DE CHAQUE SECTEUR (en %)**  
**DANS LE TOTAL DES UTILISATIONS FINALES**

|                       | REALISATIONS |            |            | PREVISIONS |            |            |            |            |
|-----------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                       | 1958         | 1968       | 1975       | 1985       |            | 2000       |            |            |
|                       |              |            |            | I          | II         | I          | II         | III        |
| Industrie             | 47           | 40         | 36         | 34         | 38         | 40         | 46         | 45         |
| Résidentiel-Tertiaire | 30           | 37         | 37         | 37         | 35         | 30         | 28         | 33         |
| Agriculture           | 2            | 2          | 2          | 2          | 2          | 3          | 2          | 2          |
| Transports            | 21           | 21         | 25         | 27         | 25         | 27         | 24         | 20         |
| <b>TOTAL</b>          | <b>100</b>   | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> |

En 2000, on note que l'industrie a une importance plus grande en II qu'en I (46 % contre 40 %), alors que l'inverse se produit pour l'ensemble résidentiel-tertiaire (28 % contre 30 %). Cela est bien conforme aux hypothèses faites sur la structure des deux PIB. De même, la place du secteur des transports est supérieure de 3 % dans le scénario I par rapport au scénario II (27 % contre 24 %). Dans le scénario III, la part de l'industrie est proche de celle de II (45 %). En revanche, le secteur résidentiel-tertiaire et le secteur des transports enregistrent des écarts plus sensibles : toujours par rapport à II, + 5 % pour l'un et — 4 % pour l'autre. Les hypothèses adoptées en III quant au mode de vie et au niveau des revenus ont un grand impact sur le secteur des transports ; la baisse en valeur absolue de la consommation de ce secteur s'accompagne également d'une baisse en valeur relative (par rapport I et II), alors que pour le secteur résidentiel-tertiaire on ne constate qu'une baisse en valeur absolue, 58 Mtep en III contre 72 Mtep en I et 62 Mtep en II. Dans les foyers domestiques et le tertiaire, on amplifie en III les mesures d'économies d'énergie et le recours aux énergies locales déjà amorcé en II, mais dans les transports on s'oriente dans une direction radicalement nouvelle, en particulier au moyen de la substitution progressive des moyens individuels de transport par des moyens collectifs de transport.

— Si on compare maintenant les évolutions de consommation passées et futures, deux faits remarquables apparaissent :

\* la part de l'industrie, qui a décliné entre 1958 et 1975 de 47 % à 36 %, commence à remonter à partir de 1985 pour atteindre en 2000 un niveau situé entre 40 % et 46 % selon les scénarios ;

\* l'évolution inverse est constatée en ce qui concerne le résidentiel-tertiaire : stabilité entre 1975-1985 autour de 35 et 37 % et légère diminution ensuite vers un seuil de 28-33 % (1).

Si elles sont correctes, ces prévisions devraient influencer le contenu des politiques énergétiques à mettre en œuvre. A long terme, le secteur industriel peut redevenir le secteur prépondérant à un double titre. D'abord, parce que sa part dans la consommation totale d'énergie tend à devenir prépondérante ; ensuite, parce que ce secteur est plus sensible au taux de la croissance économique que le secteur résidentiel-tertiaire par exemple. La prévision des valeurs ajoutées industrielles et son niveau de précision acquièrent ainsi une importance décisive, tout écart, même faible, avec la réalité se traduisant par des volumes de consommation non négligeables. La sensibilité des prévisions est en outre variable selon les branches : faible pour les biens de consommation et les IAA, modérée

(1) Ces constatations sont également vérifiées pour d'autres exercices de prévision, ceux du WAES en particulier.

pour les biens d'équipement, elle devient très grande pour les biens intermédiaires en raison du poids de leur consommation unitaire. La production industrielle s'avère de ce fait un indicateur aussi important, sinon plus, que le produit intérieur brut. Dans le scénario I, cette production progresse annuellement sur la période 1975-2000 à un taux moyen de 4,1 %, alors qu'il progresse de 4,6 % en II et seulement de 3,8 % en III.

A l'inverse des consommations intermédiaires de l'industrie, les consommations finales du secteur résidentiel-tertiaire sont moins sensibles aux variables macro-économiques de production. Plus exactement, l'incidence de ces dernières est contrebalancée par l'incidence de nombreux autres paramètres et variables : population, revenu, consommation unitaire par tête ou par ménage, taux de substitution des formes d'énergie, etc. ; de telle sorte que les risques d'erreur de prévision sont mieux répartis. On peut viser trop haut ou trop bas pour certaines valeurs, mais on sait, par exemple, que la population n'augmentera pas de 5 % par an et que les besoins de chauffage ne seront pas multipliés par 2 ou 3 en 25 ans, comme peut l'être la production industrielle.

— Pour compléter cette analyse des résultats nationaux, on peut déterminer sur la période de prévision et dans le cadre des trois scénarios les évolutions des deux indicateurs les plus communément retenus : la consommation énergétique totale par tête et la consommation énergétique totale par unité de PIB.

TABLEAU 9  
CONSOMMATION ENERGETIQUE PAR TETE  
ET  
CONSOMMATION ENERGETIQUE PAR UNITE DE PIB

|                                                          | 1975 | 1985 |      | 2000 |      |      |
|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                                          |      | I    | II   | I    | II   | III  |
| Consommation par tête<br>(tep/hab.)                      | 2,34 | 2,83 | 2,74 | 4,10 | 3,84 | 3,03 |
| Consommation par unité de PIB<br>(tep/10 <sup>6</sup> F) | 93,9 | 88,0 | 77,4 | 60,6 | 56,7 | 64,2 |

Le point remarquable est ici la consommation par unité de PIB en 2000 dans le scénario III. Avec 64,2 tep/million de F, on parvient à une valeur supérieure à celle du scénario I et du scénario II, respectivement 60,6 et 56,7 tep/million de F. Autrement dit, par rapport à I et II, les variations de la consommation d'énergie sont de plus forte ampleur que les variations du PIB (1). Cela illustre encore une fois une certaine inertie du système énergétique par rapport aux hypothèses économiques, déjà repérée en particulier dans le secteur résidentiel-tertiaire. En termes de rendement global, le système caractérisé par le scénario II est le plus « efficient » puisque la consommation par unité de PIB y est la plus faible. Ce constat tient encore lorsque l'on mesure ce rendement avec l'équivalence de l'électricité à la production et avec la consommation totale d'énergie primaire.

Le niveau de consommation par tête respecte en revanche un classement davantage conforme à la logique des trois scénarios. Ce niveau est décroissant quand on va du scénario I au scénario III. En 2000, plus d'une tep/habitant sépare les deux bornes extrêmes : 4,10 tep/hab. en I contre 3,03 tep/hab. en III. Ces conclusions ne doivent pas surprendre. Elles reflètent exactement les écarts observés dans les prévisions de la demande totale puisque le niveau de population est le même dans les trois scénarios.

(1) Cette consommation énergétique forte par unité de PIB dans le scénario III résulte d'une hypothèse de base de ce scénario : fort niveau d'investissement en biens intermédiaires, ceux-ci étant fortement consommateurs d'énergie.

### III. 1. 2. Les résultats régionaux

En ce qui concerne les neuf régions, les prévisions de demande en 1985 et 2000 sont transcrites dans le tableau 10, les graphiques 2 représentant, région par région, les évolutions de cette demande sur les vingt-cinq années de la période.

Pour essayer de préciser les rythmes d'évolution de la demande de chaque région, on a construit également le tableau 11 qui rapporte toutes les consommations des années 1985 et 2000 à une base 100, qui est la consommation de 1975. De cette manière, on peut repérer les régions qui, pour un scénario donné, avancent plus vite dans leur consommation ou, au contraire, celles qui avancent plus lentement que la moyenne nationale.

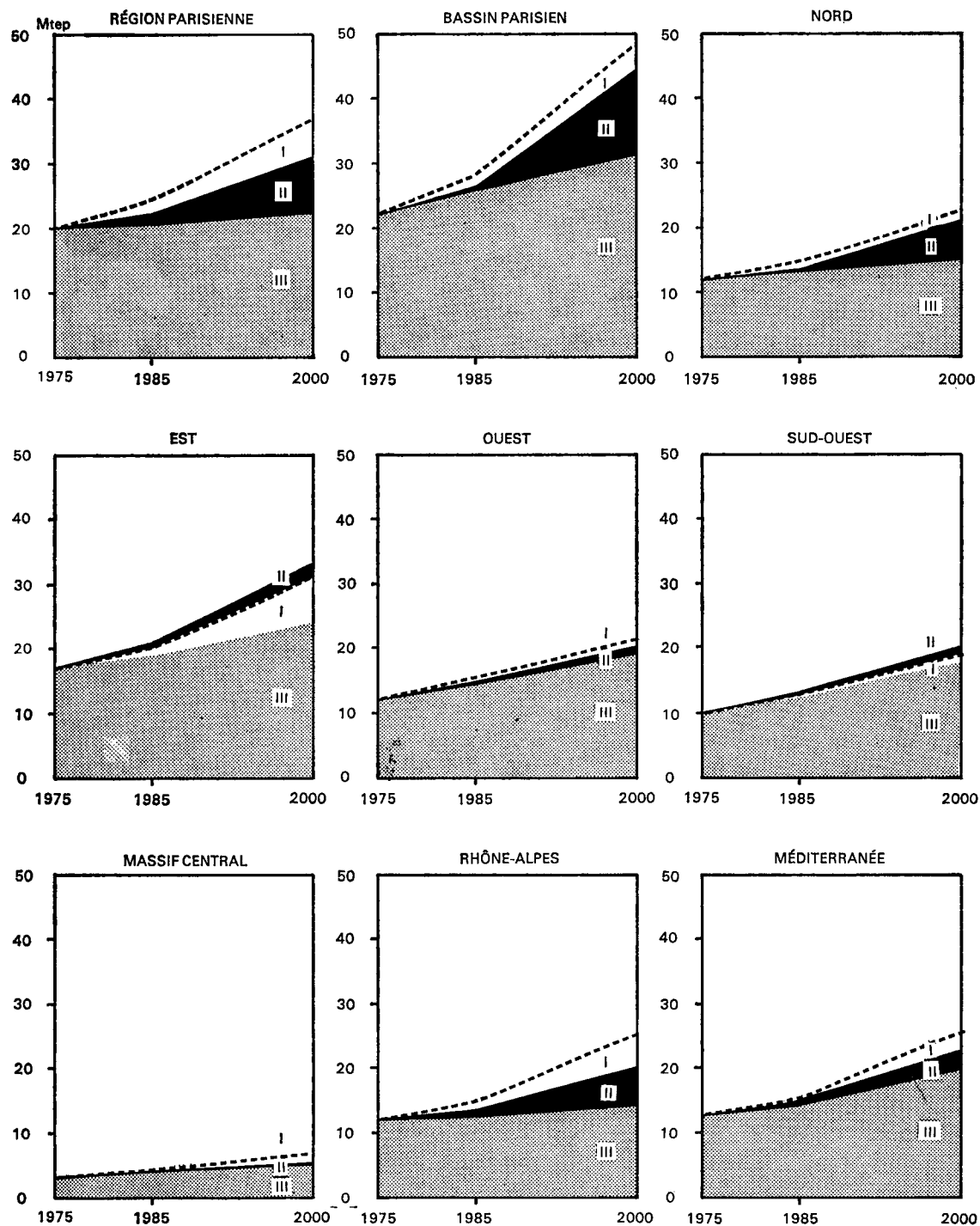
TABLEAU 10  
LES UTILISATIONS FINALES DE L'ENERGIE PAR REGION

| Mtep<br>1 TWh=0,086 Mtep | 1975 | 1985 |      | 2000 |      |      |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                          |      | I    | II   | I    | II   | III  |
| Région Parisienne        | 19,4 | 25,8 | 23,4 | 37,3 | 30,9 | 23,9 |
| Bassin Parisien          | 23,6 | 29,9 | 28,5 | 49,0 | 44,4 | 32,5 |
| Nord                     | 12,4 | 14,8 | 15,0 | 23,8 | 23,5 | 16,7 |
| Est                      | 17,4 | 20,9 | 21,7 | 32,5 | 33,8 | 25,3 |
| Ouest                    | 11,7 | 15,5 | 15,3 | 22,2 | 22,2 | 19,4 |
| Sud-Ouest                | 10,2 | 12,3 | 12,5 | 18,1 | 19,1 | 17,9 |
| Massif Central           | 3,3  | 4,6  | 4,4  | 6,0  | 6,0  | 5,3  |
| Rhône-Alpes              | 11,6 | 14,9 | 14,0 | 24,4 | 21,0 | 15,1 |
| Méditerranée             | 13,7 | 16,7 | 15,9 | 24,9 | 22,1 | 19,6 |
| TOTAL                    | 123  | 155  | 150  | 238  | 223  | 176  |

TABLEAU 11  
INDICES DE PREVISION DES UTILISATIONS FINALES DE L'ENERGIE  
POUR LES NEUF REGIONS

| Mtep              | 1975 | 1985 |     | 2000 |     |     |
|-------------------|------|------|-----|------|-----|-----|
|                   |      | I    | II  | I    | II  | III |
| Région Parisienne | 100  | 135  | 120 | 190  | 160 | 125 |
| Bassin Parisien   | 100  | 130  | 120 | 210  | 190 | 140 |
| Nord              | 100  | 120  | 120 | 190  | 190 | 135 |
| Est               | 100  | 120  | 125 | 185  | 195 | 145 |
| Ouest             | 100  | 130  | 130 | 190  | 190 | 165 |
| Sud-Ouest         | 100  | 120  | 125 | 175  | 185 | 175 |
| Massif Central    | 100  | 140  | 135 | 180  | 180 | 160 |
| Rhône-Alpes       | 100  | 130  | 120 | 210  | 180 | 130 |
| Méditerranée      | 100  | 120  | 115 | 180  | 160 | 145 |
| TOTAL             | 100  | 125  | 120 | 195  | 180 | 140 |

**Graphique 2 : ÉVOLUTION DES UTILISATIONS FINALES DE L'ÉNERGIE**





Pour l'année 1985, le rythme d'évolution de la consommation des régions est relativement peu différencié, aussi bien dans le scénario I que dans le scénario II. Les scores les plus faibles sont atteints pour le Nord et la Méditerranée, les plus forts pour l'Ouest (1). Dans le premier cas, l'explication est à chercher du côté de la production industrielle, dans le second, du côté des consommations du secteur résidentiel-tertiaire.

En 2000, et dans le scénario I, toutes les régions approchent la barre du doublement de leur consommation par rapport à 1975, avec deux régions nettement en avance : le Bassin Parisien et Rhône-Alpes. C'est la conséquence de la polarisation des activités économiques dans deux régions qui disposent déjà en 1975 d'une bonne infrastructure. La politique d'aménagement du territoire mise en œuvre dans le cadre du scénario II desserre cette tendance. Toutes les régions atteignent un bon score, à l'exception de la Région Parisienne et la Méditerranée. Ceci s'explique par le fait que, pour la Région Parisienne, sa part dans le PIB national n'atteint que 25 % dans le scénario II alors qu'elle s'élève à près de 29 % dans le scénario I. Pour la Méditerranée, deux facteurs expliquent la faiblesse du score : un accroissement très limité de la population et une progression plus lente que la moyenne nationale de la consommation des transports, consécutive à la stagnation du marché des routes. Il est à noter encore, dans le scénario II, que les trois régions du Sud-Est (Massif Central, Rhône-Alpes et Méditerranée) arrivent en queue de peloton, mais il est difficile de tirer une conclusion définitive de ce classement sans examiner plus en détail les niveaux de consommation sectorielle et les contributions de chaque forme d'énergie au bilan total de ces régions.

En se limitant au scénario II et à l'an 2000, le classement des régions selon le taux de croissance annuel de la demande totale entre 1975 et 2000 est le suivant :

| Taux de croissance | Régions                                      |
|--------------------|----------------------------------------------|
| < 2 %              | Région Parisienne, Méditerranée              |
| 2 % - 2,5 %        | Massif Central, Rhône-Alpes                  |
| > 2,5 %            | Sud-Ouest, Nord, Bassin Parisien, Ouest, Est |

Il apparaît que les régions qui ont le taux de croissance le plus soutenu sont dans l'ensemble celles qui conservent un nombre élevé d'emplois industriels ou qui bénéficient d'une priorité d'aménagement.

Avec le scénario III, le changement est complet. D'une part, le niveau de consommation moyen en 2000 est plus bas : indice 140 contre 195 en I et 180 en II. D'autre part, pour de nombreuses régions, le score en 2000 n'est souvent supérieur que de 10-20 points aux scores en 1985 (Bassin Parisien, Nord, Est, Rhône-Alpes), la Région Parisienne connaissant même une baisse par rapport à 1985 (125 contre 135) due essentiellement à une stagnation de sa population. Trois régions seulement (Ouest, Sud-Ouest et Massif Central) dépassent le niveau 160, précisément celles sur lesquelles les hypothèses de développement économique sont les plus fortes.

En se reportant au graphique 2, on voit que ce sont les trois régions pour lesquelles l'intervalle de prévision en 2000 est le plus étroit. La « nouvelle croissance » du scénario III donne là des résultats proches de ceux du « libéralisme pur » considéré dans le scénario I. On a d'un côté un effort d'implantation de nouvelles activités avec une politique énergé-

(1) Le Massif Central enregistre également une progression rapide, mais la qualité de l'ajustement du modèle de simulation pour cette région permet de douter du résultat.

tique construite sur la base des économies d'énergie (scénario III), et de l'autre un « sous-développement » régional avec une politique énergétique où le laisser-faire est la règle principale (scénario I). Or, ces deux orientations, aussi opposées qu'elles puissent être, débouchent sur des volumes de consommation globale du même ordre. Pour toutes les autres régions, et surtout la Région Parisienne et le Bassin Parisien, les écarts de prévision entre I, II et III sont plus prononcés. Il n'y a pas ici compensation entre les résultats de deux orientations opposées (comme c'était le cas pour les trois régions décrites précédemment), mais au contraire amplification des hypothèses socio-économiques par les hypothèses énergétiques, une indication du degré de cette amplification apparaissant déjà dans la distance qui sépare I de II : faible pour le Nord et l'Est, plus grande pour le Bassin Parisien, Rhône-Alpes et la Méditerranée, et importante pour la Région Parisienne.

En ce qui concerne les parts respectives de l'industrie, du résidentiel-tertiaire et des transports dans la consommation totale d'énergie régionalisée (annexe IV), on constate qu'en général chaque région prolonge en 1985 et 2000 les différences constatées en 1975, c'est-à-dire que les régions à profil industriel (Nord, Est, Rhône-Alpes) gardent ce profil sur toute la période de prévision. Les autres régions voient souvent la part de leur secteur industriel progresser de 1985 à 2000, en accord avec la tendance observée à l'échelon national, mais cette progression ne dépasse pas le seuil des 50 %.

### III. 2. LES RESULTATS DE CONSOMMATION TOTALE PAR FORME D'ENERGIE

#### III. 2. 1. Les résultats nationaux

Le tableau 12 récapitule pour l'ensemble des régions les prévisions de consommation des combustibles fossiles, d'électricité, des carburants et des nouvelles formes d'énergie pour l'ensemble des secteurs utilisateurs. On remarque en premier lieu une progression très modérée des **combustibles fossiles** entre 1975 et 1985, de l'ordre de 7-12 Mtep pour les scénarios I et II. En 2000, les différences entre les scénarios sont nettement plus accusées puisque l'apport supplémentaire par rapport à l'année de base est de 51 Mtep pour le scénario I, 38 Mtep pour le scénario II et seulement 13 Mtep pour le scénario III. Les taux de croissance annuels sont les suivants, pour les combustibles fossiles et l'électricité :

| Année/<br>Année de base  | 1975/1958 | 1985/1975 |     | 2000/1975 |     |     |
|--------------------------|-----------|-----------|-----|-----------|-----|-----|
|                          |           | I         | II  | I         | II  | III |
| Combustibles<br>fossiles | 3,5       | 1,4       | 0,9 | 2,0       | 1,6 | 0,6 |
| Electricité              | 7,2       | 4,5       | 5,7 | 4,4       | 4,9 | 3,3 |
| Demande totale           | 4,0       | 2,3       | 2,0 | 2,7       | 2,4 | 1,4 |

Ils sont inférieurs aux taux observés sur la période 1958-1975. D'autre part, pour les combustibles et dans tous les cas de figure, ces taux sont plus faibles que les taux d'accroissement de la consommation totale, de telle sorte que la part des combustibles dans le bilan décroît entre 1975 et 2000 : 64 % en 1975 et de 52 % à 54 % en 2000.

### Graphique 3 : RÉPARTITION PAR FORME D'ÉNERGIE

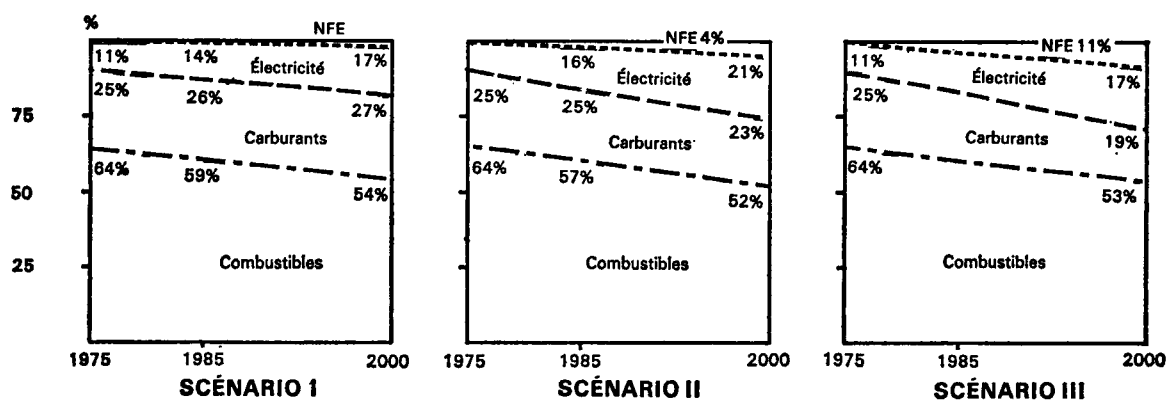


TABLEAU 12  
LES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE PAR L'ENSEMBLE DES UTILISATEURS  
(Equivalence de l'électricité à la consommation)

| Mtep<br>1 TWh = 0,086 Mtep | 1975        | 1985        |             | 2000        |             |             |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            |             | I           | II          | I           | II          | III         |
| Combustibles fossiles (1)  | 79          | 91          | 86          | 130         | 117         | 92          |
| Carburants                 | 30          | 42          | 37          | 64          | 51          | 34          |
| Electricité (TWh)          | 14<br>(159) | 21<br>(247) | 24<br>(278) | 40<br>(467) | 45<br>(526) | 31<br>(357) |
| Nouvelles formes d'énergie | —           | 1           | 3           | 4           | 10          | 19          |
| <b>TOTAL</b>               | <b>123</b>  | <b>155</b>  | <b>150</b>  | <b>238</b>  | <b>223</b>  | <b>176</b>  |

(1) Déduction faite des quantités consommées dans les centrales chaleur-force.

TABLEAU 13  
LES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE  
(Equivalence de l'électricité à la production)

| Mtep<br>1 Mtep = 0,222 TWh | 1975          | 1985          |               | 2000           |                |               |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
|                            |               | I             | II            | I              | II             | III           |
| Combustibles fossiles      | 80,2          | 90,0          | 87,6          | 131,1          | 118,7          | 97,3          |
| Carburants                 | 30,2          | 41,7          | 37,1          | 64,3           | 51,3           | 33,9          |
| Nouvelles formes d'énergie | —             | 1,2           | 3,2           | 4,0            | 9,7            | 18,8          |
| Electricité (TWh)          | 33,9<br>(159) | 54,7<br>(247) | 58,8<br>(278) | 100,2<br>(467) | 112,0<br>(526) | 66,2<br>(357) |
| <b>TOTAL</b>               | <b>145</b>    | <b>188</b>    | <b>186</b>    | <b>300</b>     | <b>292</b>     | <b>216</b>    |

— La part de l'**électricité** dans la consommation totale progresse en revanche sensiblement entre 1975 et 2000, cependant moins vite que sur la période passée. Le taux le plus fort est atteint dans le scénario II entre 1975 et 1985, mais il n'est égal qu'à 5,7 % par an contre 7,2 % entre 1958 et 1975. Les autres taux varient de 3,3 % pour le scénario III en 2000 à 4,4 % - 4,9 % pour les scénarios I et II. Mise à part l'incidence commune de la réduction de l'intensité énergétique dans le cas des utilisations industrielles et de la tendance à la saturation dans les usages domestiques, les causes de ce ralentissement varient selon les scénarios : pour I, l'explication provient d'un rythme de développement plus lent du secteur industriel au bénéfice des services, et pour III, elle provient de la percée vigoureuse des nouvelles formes d'énergie. Malgré cela, dans le bilan total, l'électricité améliore sa position puisqu'elle passe de 11 % en 1975 à 17 % - 20 % en 2000 (1). Dans le scénario II, la demande finale atteint 526 TWh, soit plus de trois fois le niveau en 1975.

Une autre conclusion que nous tirons de ces prévisions est l'existence de substitution entre les combustibles fossiles et l'électricité. En 1985, ce phénomène est particulièrement net : le surcroît de consommation d'électricité en II par rapport à I (31 TWh) est compensé en I par un surcroît de consommation de combustibles. En 2000, et toujours entre I et II, on fait la même constatation, les quantités déplacées étant encore plus grandes (59 TWh contre 13 Mtep). Quant au scénario III, les substitutions de ce type sont très faibles (pénétration des pompes à chaleur dans les usages de chauffage) et il y a en fait une substitution des combustibles et de l'électricité par les nouvelles formes d'énergie.

La structure de la consommation totale selon les formes d'énergie subit donc de profondes modifications, aussi bien d'une année à l'autre que d'un scénario à l'autre. Celles-ci se superposent aux modifications déjà constatées à propos de la structure des secteurs utilisateurs. En croisant les unes et les autres, il est possible de mieux préciser les traits caractéristiques des trois scénarios :

— I assure un développement modéré du secteur industriel et plus soutenu du secteur résidentiel-tertiaire ; les combustibles fossiles, et surtout le pétrole, restent la forme d'énergie dominante.

— II renverse les priorités de I, fonde la croissance économique sur celle du secteur industriel et s'oriente vers une utilisation massive de l'électricité.

— III a une structure intersectorielle proche de II, mais l'axe prioritaire est le recours aux nouvelles formes d'énergie et aux nouvelles techniques de production (réseaux de chaleur, pompes à chaleur, solaire).

Pour ce qui est de la part des nouvelles formes d'énergie dans la consommation totale, les quantités de **chaleur** hors combustibles (biomasse, déchets urbains, géothermie, récupération des effluents) restent faibles dans le scénario I et jusqu'en 1985 dans le scénario III : environ 1 % de la consommation totale. Les apports commencent à devenir significatifs en 2000 : 7,5 Mtep dans le scénario II et 12,5 Mtep dans le scénario III, soit 3 % et 7 % du total des consommations. Avec de tels volumes, le rythme de développement de ces consommations est élevé, respectivement 7 % et 11 % par an.

La contribution de l'**énergie solaire** ne dépasse pas le seuil de 1 Mtep en 2000 pour le scénario I, et dans les scénarios II et III elle est respectivement de 2,5 Mtep et 6,5 Mtep. Il faut cependant noter qu'on utilise ici un système de comptabilisation qui minore ces apports. D'une part, on ne tient compte ici que du « solaire actif », c'est-à-dire l'énergie obtenue au moyen de collecteurs, et non du « solaire passif », qui est celui qui inter-

(1) Avec l'équivalence de l'électricité à la production (cf. tableau 13), ces mêmes pourcentages donnent 23 % en 1975 et 31 % - 38 % en 2000.

TABLEAU 14  
LES APPORTS DES NOUVELLES FORMES D'ENERGIE EN 2000

| Mtep                          | 2000     |           |           |
|-------------------------------|----------|-----------|-----------|
|                               | I        | II        | III       |
| Biomasse                      | 1,6      | 3,2       | 5,5       |
| Solaire                       | 0,8      | 2,5       | 6,5       |
| Déchets urbains               | 0,4      | 0,8       | 1,6       |
| Géothermie                    | 0,3      | 0,5       | 0,5       |
| Rejets thermiques industriels | 0,5      | 0,8       | 2,0       |
| Pompes à chaleur              | 0,4      | 1,9       | 2,7       |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>4</b> | <b>10</b> | <b>19</b> |

vient dans la réduction des besoins en énergie solaire, soit par une meilleure architecture, soit par une meilleure isolation. D'autre part, on convient de compter la part de l'énergie solaire sur la base de l'énergie utile satisfaite (énergie finale = énergie utile), autrement dit avec un rendement de transformation égal à l'unité (alors que le rendement d'un chauffage au fuel n'est que de 50-60 %).

Si on voulait apprécier correctement la contribution du solaire, il faudrait en fait mesurer la quantité de combustibles économisée par la substitution des procédés de chauffage, et on aboutirait sans doute alors à doubler les apports nets de cette forme d'énergie. Par exemple, au lieu des 6,5 Mtep obtenus dans le scénario III, on aurait une contribution effective d'environ 13 Mtep, soit un ordre de grandeur proche de la part de l'ensemble des énergies nouvelles hors solaire.

### III. 2. 2. Les résultats régionaux

A l'échelon régional, les prévisions de consommation de combustibles, de carburant, d'électricité et de nouvelles formes d'énergie sont présentées dans les tableaux situés dans l'annexe I. Pour les combustibles, les carburants et l'électricité, les comparaisons régionales reposent sur les mêmes calculs que ceux effectués à propos des résultats d'ensemble, c'est-à-dire que l'on détermine des « indices de prévision » pour chaque région à partir d'une base égale à 100, qui correspond à la consommation totale par région en 1975. Ces indices sont représentés dans le graphique 4.

— Pour l'ensemble **combustibles et carburants**, le scénario I atteint des scores supérieurs à ceux du scénario II (1) et les régions pour lesquelles l'écart entre les deux scénarios est le plus net sont la Région Parisienne et Rhône-Alpes. C'est l'effet de la polarisation du développement économique à l'intérieur de ces deux régions dans le cadre de I et, au contraire, la tentative de desserrement engagée en II. Ces deux régions sont plus sensibles que les autres à une politique d'aménagement du territoire qui s'efforcerait d'atténuer les inégalités régionales. Quant au scénario III, on constate que la Région Parisienne, le Bassin Parisien et Rhône-Alpes dépassent en 2000 de peu le niveau de 1975, que le Nord, l'Est et la Méditerranée bénéficient de scores un peu supérieurs (niveau 120) et que seules les autres régions (Ouest, Sud-Ouest et Massif Central) enregistrent une progression un peu sensible (indices voisins de 140). Comme on l'a déjà noté au § III.1.2., ce sont précisément les trois régions pour

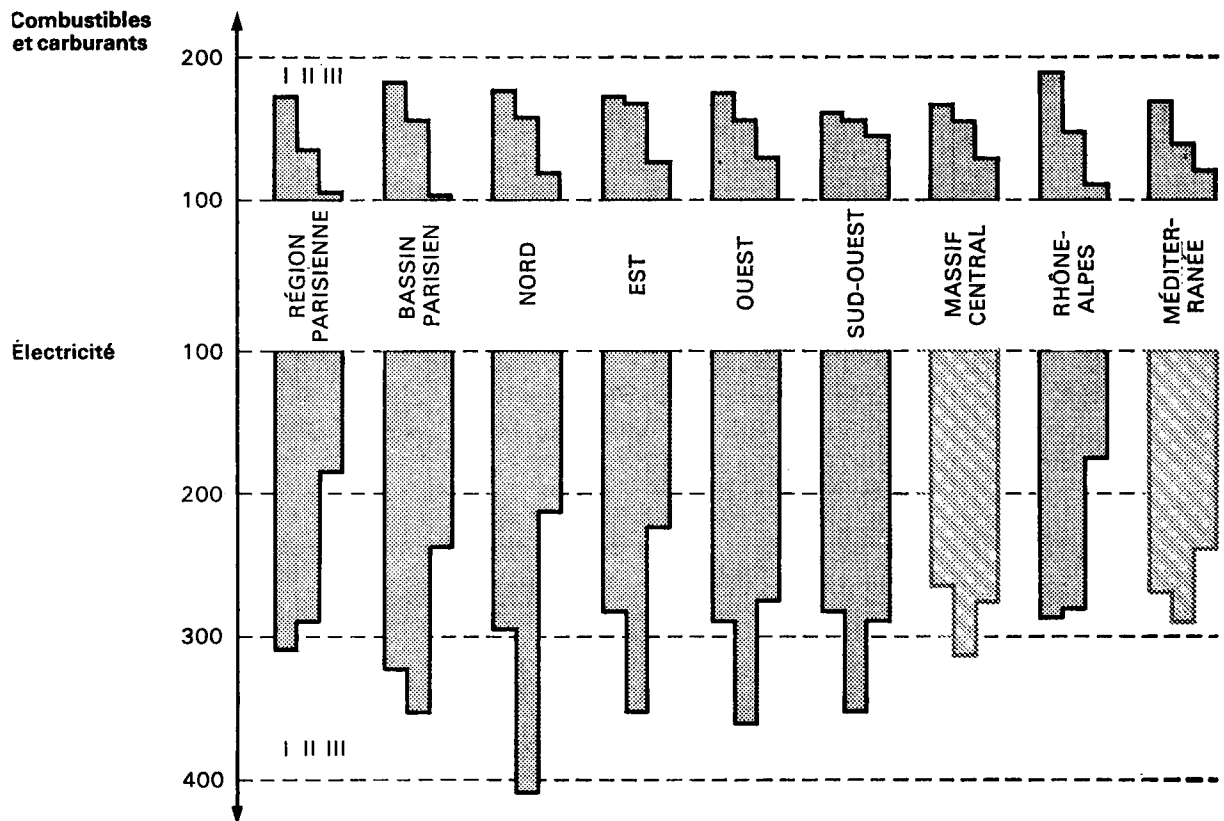
(1) Le pétrole reste la forme d'énergie dominante en I.

lesquelles l'intervalle de prévision en 2000 entre les trois scénarios est le plus étroit : elles sont moins sensibles que les autres aux contrastes introduit dans les hypothèses économiques des trois scénarios.

— En ce qui concerne **l'électricité**, on constate une situation inverse de la précédente : les prévisions en 2000 du scénario I sont sensiblement inférieures à celles du scénario II. Les deux régions qui font exception sont encore la Région Parisienne et Rhône-Alpes. Le Bassin Parisien est inclus cette fois dans la configuration générale de consommation d'électricité moindre en I qu'en II, mais la progression d'un scénario à l'autre est relativement modérée (indice 325 et 360). Toujours dans le cadre des deux premiers scénarios, on note pour la plupart des régions au moins un triplement des consommations d'électricité par rapport au niveau de 1975, voire même un quadruplement pour le Nord (sauvegarde en II des industries de biens intermédiaires). De la même façon, l'Ouest et le Sud-Ouest enregistrent une nette progression de I à II, et c'est à nouveau une conséquence du développement économique de ces régions.

De ces éléments, on pourrait tirer la conclusion qu'une politique de redéploiement industriel comme celle imaginée dans le cadre du scénario II favorise de façon particulière l'augmentation de la consommation d'électricité. Tout d'abord, elle la favorise davantage qu'elle ne favorise l'augmentation de la consommation des combustibles parce que les économies d'énergie qu'il est susceptible de réaliser avec ceux-ci sont loin d'être négligeables et que le marché potentiel est plus fermé que celui de l'électricité qui peut pénétrer dans des usages jusque-là partiellement délaissés (usages four en particulier). Ensuite, elle la favorise également davantage qu'une politique économique orientée vers le ter-

**Graphique 4 : INDICES DE PRÉVISION DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR RÉGION EN 2000 POUR LES SCÉNARIOS I, II et III. <sup>(1)</sup>**



(1) Ces indices sont obtenus en divisant la consommation de 2000 (I, II et III) par la consommation correspondante de 1975 et en multipliant le résultat par 100. Par définition, la consommation de 1975 est affectée de l'indice 100.

taire (scénario I) puisque ce secteur, on l'a déjà vu, est dans une situation énergétique où les niveaux de saturation sont parfois près d'être atteints. Ainsi, le type de développement adopté en II contribuerait à élever le niveau des consommations d'électricité. On le constate bien à l'échelon national avec un volume de 526 TWh en II contre 467 TWh en I, ainsi qu'à l'échelon régional dans le cas du Nord, de l'Est, de l'Ouest et du Sud-Ouest, quatre régions qui gagnent entre 60 et 100 points d'indice en passant de I à II.

Comme effet secondaire, remarquons aussi que les implantations industrielles ont un impact sur l'évolution de la population et se traduisent par son augmentation, ou au moins par son maintien. Cet impact se prolonge par des effets sur la production de nouveaux logements, et parmi eux de logements équipés de chauffage électrique. Et comme les régions où le taux de pénétration de ce type de chauffage est le plus élevé sont précisément celles qui bénéficieraient des effets d'une politique volontariste d'aménagement du territoire, l'accroissement originel de la consommation industrielle d'électricité se double d'un accroissement de la consommation des foyers domestiques en électricité.

Bien entendu, ce surcroît de consommation de II par rapport à I ne doit être interprété qu'en termes relatifs : ces conclusions découlent directement du corps d'hypothèses retenues dans I et II en termes de consommation énergétique. Pour être exact, on peut dire que la logique du scénario II implique une progression plus soutenue de la consommation d'électricité que la logique du scénario I.

En examinant ce qui se passe dans le scénario III, on peut s'affranchir de ces hypothèses et ne conserver que l'influence exercée par l'aménagement du territoire. En effet, ce scénario suppose un développement des régions faiblement industrialisées plus volontariste encore que celui retenu en II, mais, à l'inverse, il fait l'hypothèse d'une pénétration faible de l'électricité dans les usages thermiques industriels et domestiques. Sur ce point, il est à l'opposé de II : le marché essentiel de l'électricité reste celui des usages spécifiques. Les possibilités de comparaisons énergétiques sont cependant faussées du fait de la différence des taux de croissance du PIB entre les scénarios, soit 4,5 % en I et II contre 3 % en III. Si, fictivement, on aligne le taux de croissance de III sur celui de I et II, et si on calcule les indices de prévisions correspondants, on constate dans toutes les régions, sauf la Région Parisienne et Rhône-Alpes, que les nouveaux indices de prévision de III sont supérieurs aux indices de I. Les prévisions de consommation d'électricité calculées avec un taux de croissance uniforme pour tous les scénarios restent les plus fortes dans le cadre du scénario II, mais sont en général plus élevées en III qu'en I. Une politique d'aménagement du territoire plus interventionniste, telle qu'elle apparaît dans le corps d'hypothèses du scénario III, a donc une incidence directe sur le niveau de consommation d'électricité, même lorsqu'elle ne se double pas d'incitations à favoriser prioritairement le développement de l'électricité. Cela ne supprime pas, bien entendu, toute incidence du même type sur les niveaux de consommation des combustibles fossiles mais on peut affirmer qu'en règle générale l'intensité de cette relation est moins forte.

L'ampleur de la participation des **nouvelles formes d'énergie** à la satisfaction de la demande totale est indiquée dans les graphiques 5 et 6. Dans le scénario II, la contribution moyenne de ces formes d'énergie pour la France toute entière est de 4 %. Les diverses régions se répartissent autour de cette valeur dans un intervalle compris entre 3 % (Nord et Est) et 6 % (Bassin Parisien et Ouest). Dans le scénario III, la valeur moyenne de la part des énergies nouvelles est égale à 11 %, le Nord et l'Est atteignant à nouveau le score le plus faible avec 8 %, et le Bassin Parisien le score le plus élevé avec 15 % (devançant de peu l'Ouest : 14 %). Dans les deux scénarios, la participation des énergies

nouvelles varie donc du simple au double selon les régions. Les potentialités de chaque région accusent des écarts assez nets et cette différenciation régionale est à mettre directement au compte des disponibilités de l'offre, elles-mêmes liées aux différences dans les conditions géographiques, climatiques, etc.

Il ne faudrait cependant pas en conclure qu'il y a des régions nettement favorisées et d'autres nettement désavantagées, au point de ne consentir à développer de nouvelles techniques de production que dans les premières. S'il est vrai que des inégalités existent, il faut savoir que chaque région dispose au moins d'un atout qui mérite d'être joué, qui le solaire, qui la biomasse, qui les effluents industriels. Ces conclusions à propos des nouvelles formes d'énergie seront davantage développées lors de l'analyse de l'offre.

### **III. 3. RESUME DE L'ANALYSE DES PREVISIONS DE CONSOMMATION D'ENERGIE**

En guise de conclusion de ce chapitre, on rassemblera ici les éléments les plus importants mis en lumière au cours de l'analyse des prévisions de consommations d'énergie. Cette synthèse est axée autour des trois pôles qui constituent le sous-bassement des calculs de prévision, ce qu'on a appelé au paragraphe II.2.2. les trois ordres de cohérence, à savoir : les différenciations régionales induites par les politiques d'aménagement du territoire, les corps d'hypothèses économiques et énergétiques envisagées dans le cadre des trois scénarios et l'ordonnance temporelle de la période de prévision.

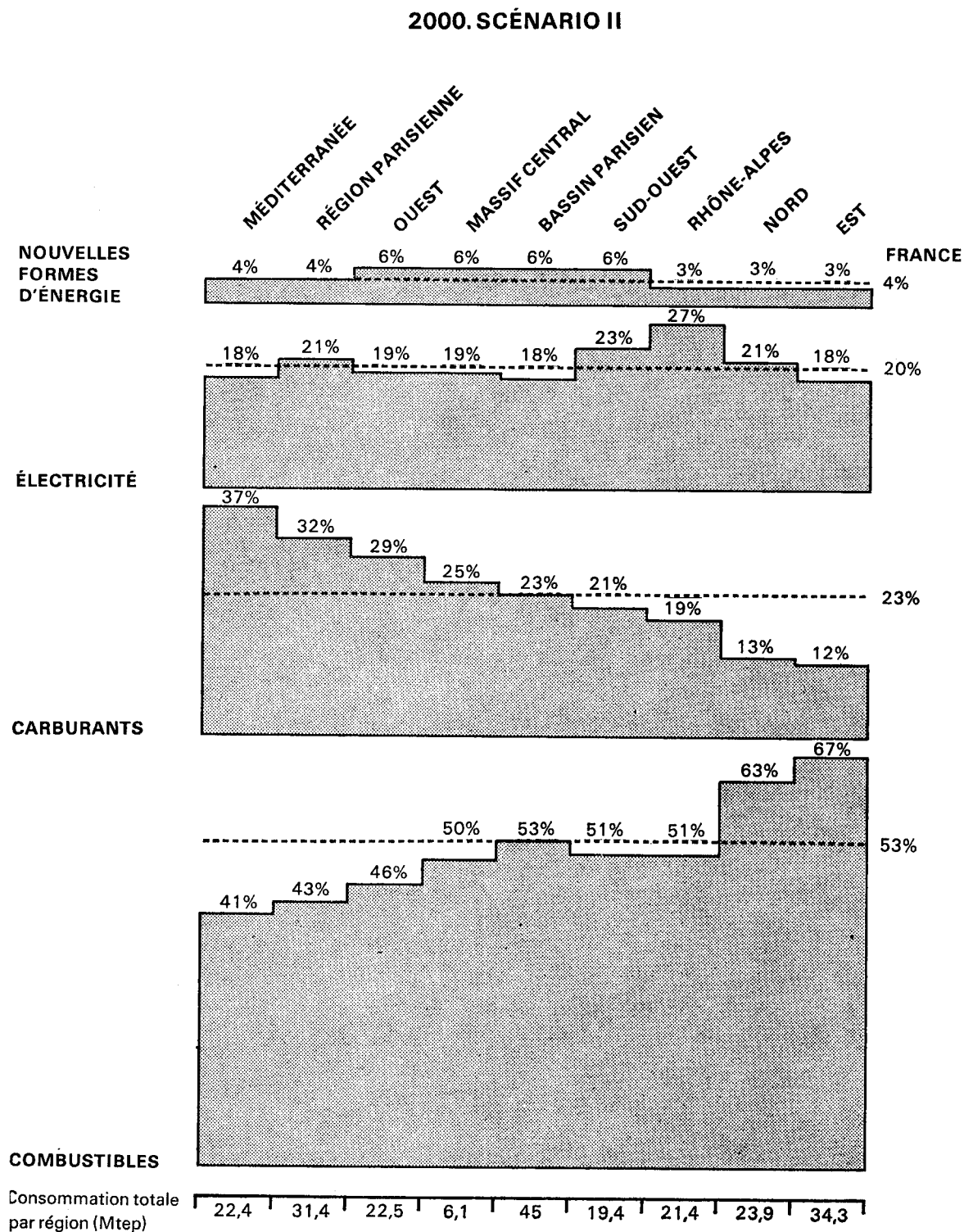
#### **III. 3. 1. L'aménagement du territoire**

Les répercussions des diverses politiques d'aménagement du territoire sont nettes, mais sont d'intensité variable. Elles sont nettes en ce sens que les projets de développement économique conduisent à hausser le niveau de la consommation totale d'énergie sous l'effet d'un accroissement de la production régionale et du nombre d'emplois et, à un degré moindre, sous l'effet d'une augmentation de la population (apports extérieurs à la région ou maintien en place de la population locale). C'est une conclusion assez naturelle et que de nombreux travaux consacrés aux relations entre énergie, PIB et emploi ont souvent mis en évidence.

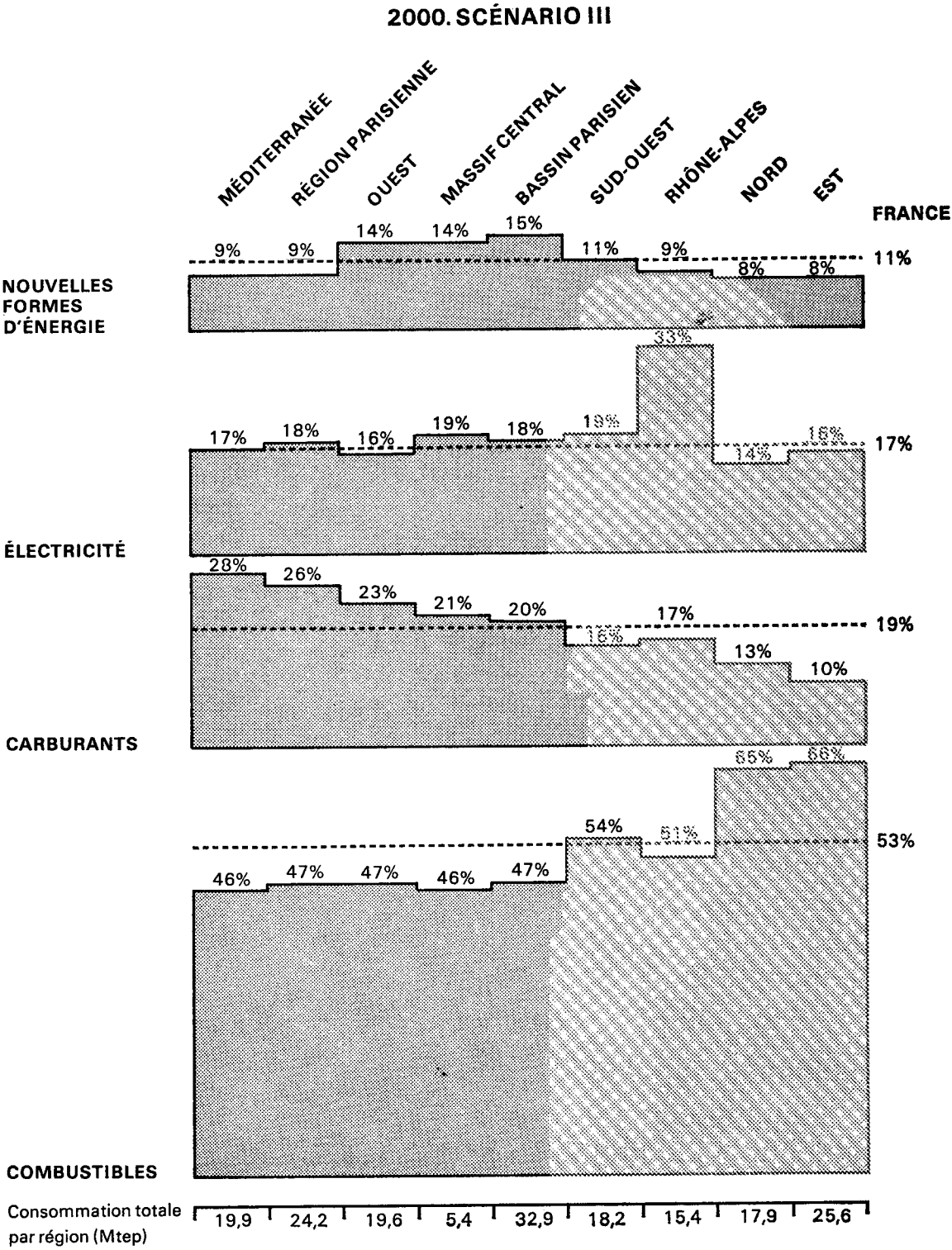
Si l'on décompose la France en régions, cette conclusion est encore largement vérifiée : la « prospérité » d'une région induit une progression de sa consommation d'énergie. Les résultats obtenus amènent cependant à distinguer assez nettement les régions de l'Ouest (ZEATMOD Ouest, Sud-Ouest et Massif Central) des autres régions. Pour les premières, on observe des sentiers d'évolution de consommation énergétique très proches quel que soit le scénario, l'intervalle de prévision en 1985 et 2000 étant très resserré, et le sentier de cheminement à partir de l'année de départ étant presque unique. Au contraire, pour les autres régions, les contrastes entre les scénarios sont accentués, l'éventail des prévisions est large, les cheminements diversifiés. Dans ce dernier cas, la polarisation des activités économiques dans certaines zones bien définies (telle qu'on l'a envisagée dans le scénario I et sous une forme un peu atténuée en II) amplifie l'incidence des hypothèses de nature énergétique (incitations faibles ou limitées aux économies d'énergie et consommation prioritaire des formes d'énergie traditionnelles) ; au contraire, dans les trois régions de l'Ouest, les effets ont tendance à se compenser, d'où une similitude dans les évolutions des consommations d'énergie malgré les différences dans les hypothèses de développement économique.



**Graphique 5 : PART DE CHAQUE FORME D'ÉNERGIE DANS LES UTILISATIONS FINALES DE CHAQUE RÉGION.**



**Graphique 6 : PART DE CHAQUE FORME D'ÉNERGIE DANS LES UTILISATIONS FINALES DE CHAQUE RÉGION.**



Mais globalement pour, l'ensemble des régions, la « polarisation renforcée » (I) s'accompagne d'un prélèvement de plus en plus fort des régions favorisées dans la consommation nationale. La « polarisation desserrée » (II) atténue les effets les plus marqués de cette tendance. Seule une politique de décentralisation permet de rétablir un certain équilibre entre les régions de l'Est du territoire et les régions de l'Ouest (III).

Les répercussions de ces trois types de politiques d'aménagement ont également des incidences variables dans d'autres domaines :

- \* plus forte dans le secteur industriel que dans le secteur résidentiel-tertiaire, le secteur industriel enregistrant des variations de grande ampleur selon l'une ou l'autre de ces politiques, tandis que le secteur résidentiel-tertiaire est caractérisé par une relative inertie, induite par des taux d'accroissement de la population très réduits ;

- \* plus forte également pour les consommations d'électricité que pour les consommations de combustibles et de carburants (pénétration potentielle de l'électricité en général supérieure à celle des combustibles et carburants).

### **III. 3. 2. Les hypothèses des scénarios**

Sous l'angle de la consommation totale, les scénarios I et II sont relativement proches. En termes d'énergie finale, la différence atteint 5 Mtep en 1985 et 15 Mtep en 2000 quand on utilise l'équivalence de l'électricité à la consommation. Avec l'équivalence à la production, l'écart s'atténue encore : 2 Mtep en 1985 et 8 Mtep en 2000. Néanmoins, les structures de cette consommation sont sensiblement différentes; aussi bien selon les secteurs que selon les formes d'énergie.

- \* Le scénario I est favorable au développement des consommations de combustibles et de carburants. La part de la consommation industrielle progresse de 4 % par rapport à 1975, celle des transports de 2 %, tandis que celle du secteur résidentiel-tertiaire baisse de 7 %.

- \* Le scénario II, au contraire, est orienté vers une utilisation privilégiée de l'électricité partout où la substitution aux combustibles est possible. Dans la consommation totale, l'importance du secteur industriel s'accroît très nettement (+ 10 %) au détriment du résidentiel-tertiaire (— 9 %).

Quant au scénario III, l'impact le plus net de l'introduction des énergies nouvelles se manifeste dans les foyers domestiques et les services. Ces nouvelles formes d'énergie, principalement la biomasse et le solaire, parviennent à conquérir 25 % de la demande finale. A l'opposé, le secteur industriel ne parvient pas à modifier profondément la structure de sa consommation : l'électricité et les combustibles continuent à assurer au moins 95 % des besoins d'énergie et cette situation est très proche de celle constatée dans les scénarios I et II. Les contrastes entre les scénarios exercent une influence certaine sur le niveau de la consommation industrielle, mais non pas sur sa structure.

### **III. 3. 3. La période de prévision 1975-2000**

De l'année initiale à l'année horizon, les évolutions sont manifestes, aussi bien à l'échelon national qu'à celui des neuf régions. Les volumes de consommation changent, les conditions économiques et sociales se modifient, les modes de consommation subissent quelques perturbations. Et toutes ces déformations s'effectuent à des rythmes variables selon les scénarios et selon les régions. On peut s'en apercevoir à la lecture du tableau suivant où sont rassemblés, pour chacune des régions et pour la France entière, les taux de croissance entre 1975 et 2000 de la consommation totale d'énergie (utilisations finales), de la production (valeur ajoutée de tous les secteurs) et de l'emploi. Pour la clarté de la présen-

tation, les calculs ne sont effectués que pour les scénarios II et III. On peut alors, d'une part, comparer les évolutions de la consommation d'énergie d'une région avec celles de la production et de l'emploi, d'autre part, repérer pour chacune de ces trois grandeurs les différences qui se manifestent d'une région à l'autre.

TABLEAU 15  
**LES TAUX ANNUELS DE CROISSANCE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE  
DE LA PRODUCTION ET DE L'EMPLOI ENTRE 1975 ET 2000  
DANS LES SCÉNARIOS II ET III**

| % (1)             | Consommation<br>d'énergie | Production | Emploi    |
|-------------------|---------------------------|------------|-----------|
| Région Parisienne | 0,8 - 1,9                 | 1,5 - 3,8  | 0,4 - 0,5 |
| Bassin Parisien   | 1,3 - 2,6                 | 3,4 - 5,1  | 1,0 - 0,8 |
| Nord              | 1,2 - 2,6                 | 3,3 - 4,6  | 1,2 - 0,6 |
| Est               | 1,5 - 2,7                 | 3,2 - 4,5  | 1,0 - 0,6 |
| Ouest             | 2,1 - 2,6                 | 4,1 - 4,9  | 1,4 - 0,4 |
| Sud-Ouest         | 2,3 - 2,5                 | 4,0 - 4,6  | 1,4 - 0,3 |
| Massif Central    | 1,9 - 2,4                 | 3,7 - 4,4  | 1,0 - 0,0 |
| Rhône-Alpes       | 1,1 - 2,4                 | 3,0 - 4,8  | 0,9 - 0,8 |
| Méditerranée      | 1,4 - 1,9                 | 3,4 - 4,6  | 1,2 - 0,6 |
| FRANCE            | 1,4 - 2,4                 | 3,0 - 4,5  | 1,0 - 0,6 |

(1) Dans chaque colonne, le premier chiffre correspond au scénario III, le second au scénario II.

Entre les scénarios II et III, les variations les plus fortes dans la croissance de l'emploi sont enregistrées à nouveau pour les trois régions Ouest, Sud-Ouest et Massif Central. Les variations des taux de croissance de la valeur ajoutée et de la consommation d'énergie dans ces régions sont cependant parmi les plus faibles et cela découle des hypothèses faites, dans le scénario II, sur la réorientation de l'activité économique vers des secteurs à haute productivité et, dans le scénario III, sur une égalisation progressive des productivités moyennes de toutes les régions, à l'exception de la Région Parisienne qui conserve en 2000 l'avance qu'elle a en 1975 (cf. annexe II). Ces trois régions bénéficient d'une conjoncture doublement favorable. La comparaison avec le scénario I modifierait évidemment ces conclusions sur de nombreux points. Le renforcement de la polarisation industrielle dans les régions actuellement favorisées pénaliserait par contre-coup les régions où l'activité industrielle est encore faible. Mais on a déjà eu l'occasion de souligner le caractère assez improbable de ce scénario, au moins pour ce qui est du contenu de ses hypothèses énergétiques.

En l'année intermédiaire 1985, les modifications par rapport à l'année de départ sont nettement atténuées. De plus, les contrastes entre les scénarios I et II, qui décrivent les possibilités d'évolution entre 1975 et 1985, ne sont pas d'une ampleur telle qu'on puisse vraiment discerner deux cheminements distincts. On a rappelé plus haut la valeur de ces écarts à l'échelon national. En ce qui concerne les régions, l'écart moyen entre les prévisions I et les prévisions II se situe aux alentours de 0,5 - 1 Mtep, donc un ordre de grandeur qu'il est difficile de considérer comme véritablement significatif. En cette année 1985, le poids du passé exerce encore une forte influence et les divers cheminements qui résulteront des options retenues pour le long terme n'ont pas encore pu se différencier.

## **Chapitre III**

---

# **L'OFFRE D'ÉNERGIE**

---

## **I. LES CATEGORIES DE L'OFFRE**

Les catégories de l'offre peuvent se définir par croisement de deux typologies distinguant quatre familles dans les formes d'énergie et trois niveaux dans leur origine spatiale.

### **II. 1. DANS LES DIFFERENTES FORMES D'ENERGIE**

Dans l'analyse de la demande qui précède, les formes d'énergie ont été regroupées en quatre « familles » :

- combustibles
- carburants
- énergies nouvelles
- électricité.

Ces catégories sont reprises du côté de l'offre, moyennant un regroupement des deux premières. Chacune donne lieu à une décomposition plus ou moins fine en fonction des trois niveaux d'approvisionnement retenus : local, national et importation.

Si, par exemple, aucune ventilation n'est faite en ce qui concerne les combustibles importés, en revanche on distingue au niveau local les trois formes de combustibles : solide, liquide et gazeux.

Dans le même esprit, l'électricité locale est répartie en trois sous-catégories (hydraulique et éolienne, production combinée urbaine, cogénération industrielle), tandis que l'électricité nationale ne comprend que deux formes (nucléaire et thermique classique).

Pour ce qui est de leur part, le groupe des énergies nouvelles est entièrement considéré comme local du fait de sa spécificité : il est désagrégé à ce seul niveau.

Ces énergies nouvelles se présentent principalement sous forme de sources de chaleur à basse température, avec cependant quelques exceptions notables. Elles comprennent :

— **des sources de chaleur à basse température :**

Le solaire (héliothermie), la géothermie basse énergie, des pompes à chaleur (considérées comme étant des techniques de prélèvement de chaleur à partir de l'air, de l'eau et du sol).

— **des sources de chaleur à température moyenne ou élevée :**

Les rejets thermiques industriels et la part de biomasse utilisable sous la forme de chaleur de combustion (notamment les déchets végétaux secs).

— **des sources de combustible et/ou carburant :**

L'autre partie de la biomasse utilisable sous forme de biométhane, et

les ordures ménagères supposées être par hypothèse transformées en briquettes de combustible.

D'autres techniques d'utilisation ou de production d'énergies nouvelles auraient pu être retenues ; mais il a paru plus réaliste de ne considérer que les technologies expérimentées ou susceptibles de l'être assez rapidement et ne présentant pas d'incertitude d'utilisation majeure.

C'est en fonction de cette règle, ou par souci de simplification, que les techniques suivantes n'ont pas été retenues :

- l'énergie marémotrice (coût et impact sur l'environnement de la baie du Mont Saint-Michel) ;
- les pompes à chaleur à gaz (seules les pompes électriques ont été prises en compte par souci de simplification) ;
- l'électricité solaire ;
- la gazéification ou liquéfaction du charbon ;
- l'héliogéothermie ;
- la géothermie à basse température et faible profondeur ;
- le stockage de l'énergie solaire pour assurer une couverture plus large des besoins de chaleur dans l'habitat ;
- le nucléaire calogène.

Par ailleurs, la méconnaissance des potentiels régionaux de certaines sources d'énergie comme le bois (1) a également conduit à ne pas les prendre en compte.

## **1.2. LES TROIS ESPACES D'APPROVISIONNEMENT**

L'un des objectifs de l'étude est d'estimer, région par région, quelle pourrait être la part des « approvisionnements locaux » en énergie dans le total des approvisionnements nécessaires au bouclage du bilan. Par commodité, on confondra la notion d'approvisionnement local-régional avec celle d'approvisionnement décentralisé.

Les approvisionnements totaux résultent de l'addition de trois espaces d'approvisionnement :

1. local ou régional
2. national
3. importé.

Pour évaluer la contribution possible des ressources locales, renouvelables ou non, aux approvisionnements énergétiques totaux, il était nécessaire de préciser, à côté des énergies importées — dont la définition ne pose aucun problème de principe — la place respective des « énergies nationales » et des « énergies locales ».

Il ne semble pas qu'une clef de répartition des formes d'énergie finale entre ces trois niveaux d'espace soit communément admise au point de constituer une norme de référence. Il était donc nécessaire de préciser nous-mêmes les critères ou conventions adoptés dans les bilans établis ici.

(1) L'utilisation énergétique du bois est de l'ordre de 0,7 Mtep au niveau national selon l'Agence pour les Economies d'Energie. Brochure « Consommations énergétiques du secteur résidentiel et tertiaire. Années 1973-1977 ».

### **I.2.1. Critère Institutionnel**

On peut tout d'abord envisager une répartition suivant des critères institutionnels, tels la nature du maître d'ouvrage ou de l'exploitation des installations, par exemple. Mais, outre l'obstacle de la complexité des chaînes énergétiques explicité plus loin, l'application de ces critères ne peut être retenue, car elle conduirait à établir autant de clefs de répartition que de scénarios puisque, selon les conditions socio-institutionnelles propres à chacun d'eux, une forme d'énergie pourra relever de maîtres d'ouvrage ou d'exploitants différents (Etat, collectivités locales, particuliers, etc.). Or, pour être comparables, des bilans se doivent de comporter des nomenclatures identiques, ce qui ne serait pas le cas ici.

### **I.2.2. Critère de la localisation des chaînes énergétiques**

Si les critères institutionnels n'apparaissent pas opératoires (1), on pourrait envisager l'établissement de critères qui permettent de différencier et de classer les formes d'énergie en fonction de la localisation des équipements énergétiques. Mais, de ce point de vue aussi, il n'existe pas de critère formellement applicable compte tenu de la complexité des chaînes énergétiques aboutissant aux formes d'énergies finales. Ces chaînes comportent en général les stades suivants :

- extraction
- traitement
- transformation
- transport et stockage
- distribution
- utilisation.

Mais, outre que ce schéma n'est pas valable pour toutes les formes d'énergie, seules les énergies renouvelables paraissent toutes, de la production primaire à l'utilisation finale, relever d'une mise en œuvre technique au seul niveau local ou régional. Toutefois, l'hydraulique peut déjà être considéré comme une exception dans la mesure où le réseau électrique assure une compensation selon les heures entre régions et moyens de production de différentes natures (thermique classique ou nucléaire, turbines à gaz, turbines hydrauliques).

La définition d'un critère cohérent à partir de la localisation de l'ensemble des stades des chaînes énergétiques conduirait à ne retenir que les énergies renouvelables, hydraulique exceptée. La définition des énergies locales sur cette base a semblé beaucoup trop restrictive, en ce sens qu'elle ne tient pas compte de la moindre dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur qui résulterait de l'exploitation des gisements d'énergie primaire répartis sur le territoire ou de la mise en œuvre de techniques économes en énergie primaire qui réalisent une meilleure adéquation ressource - usage à un niveau local. L'utilisation d'une clef aussi restrictive aboutirait en fait à sous-estimer la possibilité de contribution de certaines formes d'énergie à l'approvisionnement énergétique national par une action au niveau local ou régional. Peut-on alors se référer à un seul stade des chaînes énergétiques ?

En ne se référant qu'au lieu d'extraction de l'énergie primaire ou à tout autre stade des chaînes énergétiques, on déboucherait cette fois sur des aberrations telle celle qui consisterait à distinguer les centrales électro-nucléaires selon l'origine du minerai, locale ou importée. Il apparaît donc nécessaire de procéder à des conventions, ce qui n'est pas pour surprendre

---

(1) Ce qui ne signifie pas évidemment que le contexte institutionnel soit neutre à l'égard des conditions de développement des énergies locales.



les habitués de la comptabilité économique ou énergétique qui connaissent l'importance des conventions implicites ou explicites auxquelles il est toujours plus ou moins nécessaire de recourir.

### 1.2.3. Conventions retenues

En ce qui concerne les bilans établis ici, les conventions adoptées consistent :

— à affecter d'abord à la catégorie « **énergies importées** » toutes les énergies livrées aux frontières ;

— à affecter ensuite à la catégorie « **énergies nationales** » l'énergie électrique produite dans les centrales vouées par leur taille à un raccordement au réseau et dont par ailleurs l'implantation n'est pas déterminée par l'origine de l'énergie primaire ; c'est-à-dire toutes les centrales thermiques classiques, nucléaires, ou les turbines à gaz ;

— à affecter enfin dans la catégorie « **énergies locales** » toutes les autres formes d'énergie, étant donné :

\* soit que l'intégralité de leurs chaînes énergétiques relève de ce niveau d'espace, ce qui est le cas des **énergies renouvelables** excepté l'hydraulique ;

\* soit qu'elles résultent de techniques dont l'intérêt réside dans une meilleure adéquation ressource-usage de par leur implantation au voisinage des lieux d'utilisation, ce qui est le cas de la **production combinée** et de la **cogénération** ;

\* soit que l'extraction primaire soit liée à l'existence de gisements naturels, localisés sur le territoire, ce qui est le cas de l'**hydraulique**, du **charbon** et des **hydrocarbures** exploités en France.

En détaillant ces conventions, on aboutit au contenu suivant des trois catégories d'énergies liées aux trois niveaux d'espace :

#### 1) ENERGIES LOCALES OU REGIONALES

|                           |                                                                                                          |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| — combustibles .....      | charbon<br>gaz naturel et hydrocarbures                                                                  |
| — énergies nouvelles..... | solaire<br>biomasse<br>déchets urbains<br>géothermie<br>rejets thermiques industriels<br>pompe à chaleur |
| — électricité .....       | hydraulique et éolienne<br>production combinée urbaine<br>cogénération industrielle                      |

#### 2) ENERGIES NATIONALES

|                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| — électricité ..... | thermique classique et nucléaire |
|---------------------|----------------------------------|

#### 3) ENERGIES IMPORTEES

|                      |                                         |
|----------------------|-----------------------------------------|
| — combustibles ..... | charbon<br>gaz naturel et hydrocarbures |
|----------------------|-----------------------------------------|

## II. CONSTRUCTION DES SCENARIOS D'OFFRE A PARTIR DES ENERGIES LOCALES ET REGIONALES

### II.1. ARTICULATION DES PROCEDURES DE CHIFFRAGE DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE

Le modèle de simulation MEDEE, présenté dans le chapitre précédent, permet d'obtenir successivement deux types de sorties pour chaque région. Les premières concernent les résultats des consommations évaluées en **énergie utile** et regroupées sous trois catégories : chaleur, électricité et carburants à usages spécifiques.

Le modèle réévalue ensuite ces consommations en **énergie finale**. Ce calcul suppose une analyse détaillée des formes d'énergie utilisées. Les rendements de mise en œuvre varient avec chacune d'entre elles et ces rendements déterminent précisément les pertes de transformation et d'adéquation à l'utilisation qui constituent l'écart entre énergie utile et énergie finale. L'exploitation du modèle ne soulève pas de difficultés particulières pour le calcul en énergie finale des consommations destinées aux usages spécifiques (1). Mais son application se révèle plus délicate pour le calcul en énergie finale des consommations de chaleur, par exemple (2), compte tenu de l'éventail des formes d'énergie en présence et de la grande diversité de leurs rendements de mise en œuvre : il serait en toute rigueur nécessaire d'opérer une série d'itérations entre les structures par formes d'énergie de l'offre et de la demande en énergie finale.

Cette difficulté a été tournée par une recherche préalable de l'adéquation offre-demande en termes d'**énergie utile**. On commence par confronter les offres possibles des différentes formes d'énergie dans les usages chaleur avec les demandes en énergie utile, de façon à définir des taux de pénétration de ces formes d'énergie garantissant un équilibre global. En fonction de cette structure d'offre en énergie utile, on détermine alors la structure d'offre garantissant l'équilibre recherché en termes d'énergie finale, le passage s'opérant en appliquant aux diverses formes d'énergie des rendements propres de mise en œuvre. On vérifiera enfin que ce processus de calcul n'entraîne pas d'incohérences pour l'équilibre offre-demande régional par forme d'énergie.

Par souci de simplification, l'exposé qui suit ne distingue pas énergie utile et finale, les évaluations chiffrées ne se rapportant qu'à des énergies finales. Il est entendu aussi que le chiffrage est effectué pour chaque région avant d'être agrégé au niveau national. Cette agrégation ne fait apparaître aucune incohérence du point de vue des orientations propres à chaque scénario.

### II.2. PROCEDURE DE CHIFFRAGE DE L'OFFRE

Deux considérations sont à l'origine de la procédure retenue pour la construction des scénarios d'offre en énergie finale. On définit en premier lieu, dans chaque scénario, la place accordée aux formes d'**énergie locales** ou **régionales**, les formes nationales puis importées n'intervenant, même si leur part demeure nettement prépondérante, qu'en complément. Le choix pour cette procédure est justifié par deux objectifs de politique

(1) Rappelons que les usages spécifiques sont constitués par les usages captifs de certains produits énergétiques (carburants pour les transports, par exemple) et non susceptibles d'être confrontés à des choix de substitution entre diverses formes d'énergie.

(2) Le besoin de chaleur est par excellence susceptible d'être couvert par des usages substituables.

énergétique : limiter les importations de combustibles et rechercher la meilleure adéquation entre types de demande et d'offre d'énergie de façon à minimiser les pertes à demande d'énergie utile donnée.

Ce dernier objectif, qui est de limiter la dépendance énergétique nationale, conduit bien à définir en premier lieu la place des énergies locales ou régionales, et notamment des énergies nouvelles, dans la mesure où elles permettent de réaliser une meilleure adéquation offre-demande dans certains usages, tels les usages chaleur à basse température (1). De surcroît, elles se prêtent moins bien que les autres formes d'énergie au transport et ne conviennent souvent qu'à ces types de demande énergétique (principalement dans l'habitat neuf). A l'inverse, les autres formes d'énergie qui possèdent généralement les caractéristiques inverses sont substituables pour un éventail de demande beaucoup plus large. Elles peuvent être affectées comme offre complémentaire sans entraîner d'incohérence dans la construction des bilans régionaux, puis nationaux.

— La procédure de construction des scénarios d'offre résulte ensuite d'une hiérarchisation de la place des énergies locales et régionales en fonction des objectifs politiques propres à chaque scénario, celles-ci étant privilégiées dans le scénario III au regard des scénarios I et II. D'où l'idée de chiffrer la contribution des énergies locales et régionales pour le scénario III et d'en déduire leur contribution pour les deux autres par réduction des taux de pénétration de ces formes d'énergie pour le scénario II et plus encore pour le scénario I. Ces réductions sont effectuées par forme d'énergie en fonction des contraintes politiques qui caractérisent leur mise en œuvre. Elles sont assez uniformes pour les énergies nouvelles : leurs taux de réduction avoisinent, vis-à-vis de leur équivalent dans le scénario III, 50 % dans le scénario II et 25 % dans le scénario I.

Les pages qui suivent précisent les conditions de pénétration de ces formes d'énergie et leur contribution pour l'offre en 2000 III, où ces conditions de pénétration sont supposées très favorables. Elles indiquent par comparaison la contribution des formes conventionnelles de ces énergies locales et régionales, combustibles et électricité, pour 2000 I et 2000 II.

La procédure de chiffrage de l'offre peut être schématisée en quatre étapes :

- 1° examen des conditions de pénétration des énergies locales et régionales à partir des potentiels techniques existants ;
- 2° définition de leurs taux de pénétration dans le scénario III en recherchant la meilleure adéquation offre-demande ;
- 3° définition de leurs taux de pénétration dans les scénarios I et II par réduction des taux du scénario III ;
- 4° bouclage de l'offre assurant l'équilibre offre-demande d'énergie finale par les énergies nationales et importées.

Les pages qui suivent retracent les grandes lignes des deux premières étapes décrites avant d'analyser les résultats d'ensemble des prévisions d'offre en énergies locales et régionales pour les trois scénarios, puis d'examiner le bouclage par les énergies nationales et importées.

(1) Cette adéquation est parfois qualifiée d' « exergétique ». Elle se réfère à la qualité de l'énergie du point de vue du deuxième principe de la thermodynamique.

### **II. 3. CONDITIONS DE PENETRATION DES ENERGIES LOCALES ET REGIONALES**

Les contraintes de pénétration diffèrent selon les énergies locales et régionales, et principalement entre les énergies conventionnelles et non conventionnelles.

#### **II. 3. 1. Les énergies conventionnelles**

Ces énergies (charbon, gaz naturel et hydraulique) ne dépasseront plus, ou guère, leur niveau actuel de développement du fait de l'épuisement des gisements exploitables. Leur part dans les différents scénarios dépend de ce fait des données techniques disponibles concernant les gisements restant à exploiter ou à équiper (pour les sites hydrauliques), et d'une appréciation des conditions sociales et économiques (prix, financement) prévalant dans chaque scénario et modulant la rapidité de la régression (pour le charbon en particulier) ou le rythme d'équipement de nouveaux sites hydrauliques.

#### **II. 3. 2. Les énergies non conventionnelles**

L'estimation des niveaux de pénétration des différentes formes d'énergies non conventionnelles (énergies nouvelles, production combinée, cogénération) selon les scénarios doit tenir compte de nombreuses incertitudes concernant :

- l'estimation des potentiels régionaux,
- la rapidité de maturation des technologies de mise en œuvre correspondantes,
- l'influence des conditions institutionnelles sur la pénétration de ces formes d'énergie,
- leurs conditions sociales de mise en œuvre,
- leurs coûts respectifs.

Ces incertitudes conduisent à effectuer certains arbitrages, ou à avancer certaines hypothèses pour chacune de ces formes d'énergie. Les arbitrages concernant la prise en compte ou l'exclusion de certaines formes d'énergie par manque de données sur le potentiel existant, ou les incertitudes sur les délais de maturation technologique, ont été mentionnées précédemment. En revanche, les hypothèses de pénétration pour les formes d'énergie finalement retenues sont établies dans une perspective nettement volontariste.

Contre cette perspective volontariste, on peut mentionner les principaux obstacles de nature économique, sociale ou institutionnelle existants, mais que l'on suppose pouvoir être levés à temps :

##### **a) CONTEXTE SOCIO-INSTITUTIONNEL**

- le recours à une part importante de la biomasse utilisable suppose une organisation de son exploitation par regroupement d'agriculteurs à l'échelle du village ou du canton. L'horizon 2000 paraît suffisamment lointain pour que ce type d'organisation puisse être mis en place sans qu'il ne s'agisse pour autant d'une certitude de l'acceptation de ce type d'organisation par les intéressés, notamment les agriculteurs ;
- un développement massif du solaire et de la pompe à chaleur dans l'habitat neuf est parfaitement possible à long terme. Mais son poids dans les bilans dépendra aussi de sa vitesse de pénétration dans les

années de transition. Ceci suppose l'acceptation d'un fort tassement, voire l'abandon total de solutions en développement actuel, comme le Tout Electrique ;

— l'utilisation énergétique des déchets urbains et le développement de la production combinée supposent l'un et l'autre la création ou l'extension de nombreux réseaux de chauffage urbain. En l'état actuel, ces créations de réseaux paraissent très hypothétiques car, même si les difficultés institutionnelles pour l'adoption d'une telle forme d'énergie étaient levées, les communes se verraient dans l'impossibilité de financer de tels investissements, d'autant plus qu'elles ne peuvent plus tirer parti de la réalisation de grands programmes de logements (leur période s'achève) permettant seuls une rentabilisation à court terme de telles installations.

Par ailleurs, la conception actuelle du programme nucléaire ne facilite pas non plus un tel développement du chauffage urbain, tant du fait de la grande taille des unités et de leur principe de fonctionnement que de leur localisation à distance des zones de forte densité urbaine.

#### b) NIVEAU DE PRIX

Plus globalement, la hausse du niveau des prix de référence des énergies conventionnelles est supposée permettre le développement à une échelle importante des nouvelles formes d'énergie. De fait, une hausse de 50 %, voire de 100 % du prix de ces énergies conventionnelles, comme il en est généralement attendu pour l'horizon 2000, suffirait à garantir la rentabilité de la plupart des nouvelles formes d'énergie prises en compte. Une attitude rationnelle consisterait à anticiper cette tendance à la hausse, mais rien n'assure que tel sera le comportement des utilisateurs. Aussi, l'hypothèse d'évolution des prix de l'énergie doit-elle être considérée comme assortie de l'hypothèse favorable selon laquelle les utilisateurs prendront en compte cette perspective dans leurs décisions.

#### c) COMPTABILITE DES TAUX DE PENETRATION

Une autre difficulté à laquelle se heurte la pénétration des énergies nouvelles réside dans la concurrence des autres formes d'énergie, surtout si l'on adopte (comme pour 2000 III) des taux de pénétration élevés, et à l'étroitesse du marché de la construction neuve auquel les énergies nouvelles sont principalement destinées. La procédure de calcul des taux de pénétration adoptés dans les régions où les énergies nouvelles représentent une part importante a été testée de façon empirique. On s'est assuré en particulier que le poids des énergies nouvelles destinées à l'approvisionnement en énergie de l'habitat neuf ne dépassait pas les possibilités offertes par le volume des constructions neuves dans chaque région. En réalité, ce test n'est pas à lui seul garant de toutes les cohérences nécessaires. D'autres tests nécessitant une prise en compte plus fine du parc immobilier par catégories et par agglomérations seraient en toute rigueur nécessaires. Ils dépassent pour la plupart les moyens de cette étude, comme, par exemple, celui de la comptabilité entre pénétration du chauffage urbain en Ile-de-France et pénétration des énergies nouvelles couvrant les besoins de chauffage de l'habitat neuf dans cette même région.

#### d) ORGANISATION DU TRANSPORT

Outre ces règles de comptabilité, l'incidence des contraintes de transport pour certaines formes d'énergie, celles issues de la biomasse, par exemple, et transportables sur quelques dizaines de kilomètres seulement, devrait être prise en compte. Mais tester ces contraintes nécessiterait un examen spatial trop détaillé. Dans ce cas particulier, on a seulement effectué une vérification grossière en s'assurant que dans aucune région la contribution prévue pour la biomasse ne dépassait la demande de l'habitat rural strictement local.

## **II. 4. LES SOURCES LOCALES ET REGIONALES DE COMBUSTIBLES CLASSIQUES**

Si l'on exclut le bois, dont l'importance actuelle, et plus encore future, en tant que ressource énergétique régionale, est assez mal saisie par les statistiques à ce niveau de finesse, il reste trois types de combustibles classiques susceptibles d'apporter une contribution à l'offre énergétique régionale à long terme : le charbon, le gaz naturel et le pétrole.

En ce qui concerne le pétrole, l'hypothèse qui paraît aujourd'hui la plus prudente est qu'aucune découverte importante n'interviendra désormais sur le territoire métropolitain. Les réserves en cours d'exploitation s'épuisant rapidement, cette forme d'énergie devrait perdre toute importance régionale dès 1985. Ne compterait dès lors à ce niveau spatial que le charbon et le gaz naturel (1).

L'évaluation faite pour les trois scénarios des contributions de ces deux types de combustibles à l'offre énergétique repose sur les estimations courantes des réserves exploitables et de leurs contraintes d'exploitation aux horizons 1985 et 2000.

### **II. 4. 1. Le charbon**

Les conditions d'exploitation des gisements et les contraintes d'entreprise des Charbonnages de France amènent à ne considérer que deux bassins pour le très long terme : Lorraine et Provence. D'autres contributions marginales subsisteront éventuellement en 1985 comme celles du bassin Nord - Pas de Calais et de Blanzey, ou pourraient être développées par la suite, comme les bassins de l'Aumance et de Lons-le-Saunier.

En fonction d'hypothèses plus ou moins favorables sur le maintien en exploitation des petits bassins et le niveau d'exploitation de deux principaux bassins, on peut retenir une fourchette globale de contribution du charbon de l'ordre de 5,4 à 7,6 Mtep pour 2000 I et 2000 III, avec un niveau intermédiaire pour 2000 II.

### **II. 4. 2. Le gaz naturel**

Le niveau de production du gisement de Lacq à très long terme dépend de ses réserves ultimes (qui ne peuvent être évaluées avec certitude) et de son rythme d'exploitation dans les années intermédiaires, mais il dépend finalement très peu des orientations politiques générales qui différencient les trois scénarios. C'est pourquoi l'estimation de 1,5 Mtep en 2000 a été retenue pour les trois scénarios, avec un niveau de 6,2 Mtep pour 1985.

## **II. 5. LES SOURCES LOCALES ET REGIONALES D'ELECTRICITE**

Elles sont de trois types :

- énergie hydraulique et éolienne
- production combinée
- cogénération.

Ces deux derniers moyens de production sont privilégiés dans 2000 III au même titre que les autres énergies locales, dans la mesure où ils contribuent à la conservation de l'énergie par combinaison de production de chaleur et d'électricité en vue d'une meilleure adéquation aux besoins locaux.

(1) Il n'est pas exclu cependant qu'un programme d'exploration systématique ne puisse conduire à des découvertes significatives.

### **II. 5. 1. Energie hydraulique et éolienne**

Compte tenu de l'épuisement des sites hydrauliques, l'hypothèse d'un potentiel épuisable de 10 TWh en sus de ce qui sera équipé en 1985 est un objectif volontariste. Ce potentiel a été réparti régionalement pour 2000 III au prorata du potentiel équipé en 1975. La contribution de l'électricité éolienne restera en tout état de cause peu significative, soit 0,4 TWh pour 2000 III, en retenant l'hypothèse d'installer dans les régions Ouest, Nord et dans la moitié de la Méditerranée un nombre d'éoliennes de 100 kW équivalent au nombre de communes.

Le potentiel équipable pour ces deux formes d'énergie est réduit de 10,5 TWh pour 2000 III à 4 TWh pour 2000 II et à néant pour 2000 I.

### **II. 5. 2. Production combinée urbaine (cf. annexe V)**

L'évaluation du potentiel de cette forme d'énergie ne prend pas en compte les villes à climat doux, c'est-à-dire celles des régions Sud-Ouest et Méditerranée. Par ailleurs, on a supposé une priorité de la production combinée sur la géothermie dans les villes de forte densité. Cette dernière hypothèse réduit considérablement le potentiel de géothermie utilisable.

La production combinée n'est censée couvrir que 75 % des besoins de chaleur raccordables sur réseaux du secteur résidentiel-tertiaire, d'où 25 % de ces besoins devront être couverts en énergie d'appoint par les combustibles. Elle apporterait ainsi conjointement, pour 2000 III, 20,2 TWh d'électricité et 5,5 Mtep de chaleur utile pour une consommation de 9,78 Mtep répartie en 7,06 Mtep de gaz, 1,13 Mtep de charbon et 1,59 Mtep de combustible d'appoint (1). Pour 2000 I et 2000 II, les quantités d'électricité produites se réduisent à 6,2 et 7,6 TWh.

### **II. 5. 3. Cogénération industrielle (cf. annexe VI)**

L'hypothèse principale a été de considérer pour 2000 III que 50 % des consommations électriques de cinq branches sont approvisionnées par la cogénération industrielle (raffinage, pâte à papier, textile, chimie, IAA). Les techniques de cogénération utilisées sont supposées être celles des turbines à gaz pour moitié et celles des moteurs alternatifs pour l'autre. L'apport est ainsi de 39,2 TWh d'électricité et de 6,85 Mtep de chaleur pour une consommation de 13,7 Mtep de gaz. Pour 2000 I et 2000 II, l'apport en électricité est seulement de 10,3 et 14,4 TWh.

## **II. 6. LES SOURCES LOCALES ET REGIONALES EN ENERGIES NOUVELLES : LE CAS DU SCENARIO III**

Selon les hypothèses retenues, la contribution des énergies nouvelles est de 4, 10 et 19 Mtep pour 2000 I, II et III. Les hypothèses ayant conduit à la définition de l'apport dans 2000 III sont précisées en annexes. On peut en rappeler ici les grandes lignes pour chaque forme d'énergie.

### **II. 6. 1. Héliothermie (annexe VIII)**

L'énergie solaire se développe dans les secteurs domestique, tertiaire et industriel à travers les usages chaleur : chauffage des locaux dans les trois secteurs et eau chaude sanitaire dans le domestique. L'apport total est de 5,5 Mtep en 2000 III.

(1) Les modes de calcul de ces consommations sont précisés en annexe.

— Pour le chauffage des locaux, les taux de pénétration ne sont pas différenciés selon les régions puisque la rentabilité économique des surfaces des capteurs est à peu près identique d'une région à l'autre. Cette homogénéité des conditions de pénétration tient à la compensation d'une zone climatique à une autre entre l'intensité du flux solaire et la durée de la saison de chauffage. En revanche, ils sont différenciés selon les types de bâtiments : individuels ou collectifs ; neufs ou anciens ; domestique, tertiaire ou industriel.

— Pour l'eau chaude sanitaire, les taux de pénétration sont différenciés selon les régions climatiques et le caractère neuf ou ancien de la construction.

#### **II. 6. 2. Biomasse (annexe VII)**

L'apport total de la biomasse est de 6,5 Mtep dans 2000 III, essentiellement destiné aux usages chaleur. Cet apport n'inclut pas les ressources forestières dont la part utilisable au niveau des régions reste difficile à apprécier compte tenu des contraintes de renouvellement de cette ressource et surtout de ses conditions techniques, sociales et économiques de mise en œuvre.

Sont considérés dans l'apport de la biomasse à l'offre la moitié des déchets agricoles animaux et végétaux non réutilisables à d'autres fins économiques ou non nécessaires à la reconstitution des sols. Deux filières ont été retenues : la méthanisation pour les déchets humides et la combustion pour les déchets de faible humidité tels que les pailles de céréales. Le potentiel de biomasse apparaît très inégal selon les régions : il reflète en fait les différenciations de l'activité agricole sur le territoire.

#### **II. 6. 3. Déchets urbains (cf. annexe VIII)**

Seuls sont pris en compte, mais alors dans leur intégralité, les déchets des communes et agglomérations de plus de 50 000 habitants. Le potentiel énergétique correspondant est évalué sur la base d'un procédé de fermentation, le procédé Loas, permettant un stockage sous forme de briquettes de combustible.

#### **II. 6. 4. Géothermie (cf. annexe V)**

Le gisement national géothermal brut est en lui-même considérable. Néanmoins, diverses contraintes en limitent la disponibilité. Elles conduisent à retenir les hypothèses suivantes et à opérer un arbitrage avec la production combinée urbaine :

— Seuls les gisements d'eau chaude à plus de 50° C et de transmissivité supérieure à 5 ont été retenus. Ils se trouvent essentiellement dans la Région Parisienne, le centre du Bassin Parisien, le nord de l'Alsace et dans une zone étendue mais peu peuplée du Sud-Ouest. Cette hypothèse ne nie pas l'intérêt de la géothermie des nappes peu profondes qui, bien qu'étant à température plus faible, restent valables avec des installations adaptées (planchers chauffants, pompes à chaleur). Le recours à la géothermie est limité aux villes de plus de 20 000 habitants qui dépassent un seuil donné de densité de consommation de chaleur. Les taux de raccordement des logements au réseau géothermique ont été fixés à un niveau d'autant plus élevé que cette densité de consommation l'est elle-même.

— Les installations du chauffage par géothermie supposent un appoint de chaleur de l'ordre de 25 %, assuré en partie par des pompes à chaleur et en partie par des combustibles classiques.



Ces hypothèses conduiraient normalement à estimer le potentiel de chaleur géothermal à plusieurs Mtep. En fait, ce potentiel a été réduit à 0,4 Mtep en fonction d'un arbitrage favorable à la production combinée urbaine dans les villes de plus de 50 000 habitants qui dépassent un certain seuil de densité de consommation de chaleur. Mais il faut noter qu'un arbitrage en faveur de la géothermie serait tout aussi conforme aux orientations du scénario III.

#### **II. 6. 5. Rejets thermiques industriels (cf. annexe V)**

L'évaluation de ce potentiel a été effectuée directement par le CEREN. Les mille principaux établissements industriels consommateurs d'énergie rejettent plus de 5 Mtep d'énergie récupérable, celle-ci étant estimée en équivalent eau chaude à 90° C. Mais, sur ce total, 2 Mtep au mieux paraissent récupérables si l'on tient compte de la contrainte de localisation des usages à moins de 10 km des rejets et des contraintes de modulation de l'offre en fonction de variations saisonnières de la demande.

#### **II. 6. 6. Pompes à chaleur (1) (cf. annexe VIII)**

On admet que 30 % des logements neufs construits de 1975 à 2000 seront équipés de PAC. La pénétration est différenciée selon les zones climatiques pour tenir compte de la plus grande compétitivité des PAC en zone froide. Avec un coefficient d'amplification saisonnier de 2,5, on peut prélever ainsi 2,7 Mtep d'énergie renouvelable en 2000 à partir de l'air ou des nappes phréatiques.

### **III. L'APPORT DES ENERGIES LOCALES ET REGIONALES DANS LES SCENARIOS D'OFFRE**

La construction des scénarios d'offre a pris en considération le caractère doublement privilégié des énergies locales et régionales du fait de leur contribution à l'indépendance énergétique nationale et de leurs liens étroits avec l'espace régional. Il s'agit maintenant d'apprécier de ces deux points de vue les résultats de la construction des bilans d'offre.

#### **III. 1. CONTRIBUTION GLOBALE DES ENERGIES LOCALES ET REGIONALES DANS L'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE**

##### **III. 1.1. Contribution à l'indépendance énergétique**

Sans préjuger de son importance du point de vue de la politique énergétique, le taux d'indépendance énergétique, ou proportion des énergies locales et régionales dans l'offre d'énergie finale, permet de comparer les contributions de ces formes d'énergie selon les scénarios ou selon les régions. Il apparaît ainsi que le taux d'indépendance de la France ne pourra se maintenir au mieux qu'à son niveau de départ, soit 23 % pour 2000 III.

---

(1) PAC = pompe à chaleur.

**TABLEAU 16**  
**APPORT DES ENERGIES LOCALES ET REGIONALES**  
**TAUX D'INDEPENDANCE PAR SCENARIO**

Unité : Mtep

|                                         | 1975 | 1985 | 2000<br>I | 2000<br>II | 2000<br>III |
|-----------------------------------------|------|------|-----------|------------|-------------|
| Combustibles et carburants              | 23,0 | 14,0 | 7,0       | 8,0        | 9,0         |
| Electricité                             | 6,1  | 7,4  | 7,0       | 7,4        | 11,6        |
| Energies nouvelles                      | —    | 3,0  | 4,0       | 10,0       | 19,0        |
| Total énergies<br>locales et régionales | 29,1 | 24,4 | 18,0      | 25,4       | 39,6        |
| Taux d'indépendance                     | 23 % | 16 % | 8 %       | 11 %       | 23 %        |

Cette difficulté à maintenir le taux d'indépendance énergétique tient principalement à l'épuisement des ressources fossiles nationales (gaz et charbon).

### III. 1. 2. La contribution des énergies nouvelles

L'apport des énergies nouvelles en 2000 s'échelonne entre 4,0 Mtep, 9,7 Mtep et 18,9 Mtep selon les trois scénarios 2000 I, II et III. Ces différents niveaux correspondent aux réductions de 25 et 50 % de la contribution pour 2000 III de la plupart des formes d'énergie nouvelles, comme l'hypothèse en a été posée au départ de la construction des scénarios d'offre. Marginal dans le scénario 2000 I, l'apport des énergies nouvelles peut devenir très significatif puisqu'il équivaut pratiquement dans le scénario 2000 III à l'apport conjoint des combustibles et de l'électricité totale, soit 20,6 Mtep.

#### \* LES RYTHMES DE PENETRATION

Les hypothèses de réduction n'ont cependant pas valeur générale compte tenu de la plus grande maturité technique de certaines énergies nouvelles telles que la géothermie, les déchets urbains ou les rejets thermiques. Cette particularité justifie une pénétration initiale plus rapide et explique que dans la ventilation de l'apport des énergies nouvelles (cf. tableau 17) ces formes d'énergie prennent un poids relativement plus élevé en 1985 pour revenir à un poids plus modeste en 2000 du fait de l'écroulement des gisements correspondants.

**TABLEAU 17**  
**APPORT EN ENERGIES NOUVELLES**  
**VENTILATION PAR FORMES D'ENERGIE**

| Disponibilités<br>%       | 1975 | 1985<br>II | 2000<br>I | 2000<br>II | 2000<br>III |
|---------------------------|------|------------|-----------|------------|-------------|
| Solaire                   | —    | 10 %       | 20 %      | 26 %       | 29 %        |
| Biomasse                  | —    | 22 %       | 40 %      | 34 %       | 34 %        |
| Déchets urbains           | —    | 31 %       | 10 %      | 8 %        | 9 %         |
| Géothermie                | —    | 12 %       | 6 %       | 5 %        | 3 %         |
| Rejets thermiques         | —    | 15 %       | 14 %      | 8 %        | 11 %        |
| PAC                       | —    | 10 %       | 10 %      | 19 %       | 14 %        |
| Energies nouvelles (Mtep) | —    | 3,2        | 4,0       | 9,7        | 18,8        |

**\* LA COMPENSATION DE LA REGRESSION DES COMBUSTIBLES FOSSILES**

Le développement des énergies nouvelles apporte jusqu'à 18,8 Mtep en 2000 III. En fait, ce développement est symétrique des régressions charbonnière du Nord et gazière du Sud-Ouest, qui représentent au minimum 14,3 Mtep en 2000 III et plus en 2000 I et 2000 III. En définitive, ces évolutions ne font guère mieux que de se compenser en 2000 III et conduisent pour 2000 I et 2000 II à une nette dégradation du taux d'indépendance énergétique quand on se limite aux seules énergies locales et régionales. Cette confrontation entre apports de diverses formes d'énergie souligne l'importance des énergies nouvelles en même temps qu'elle permet d'en mesurer la portée limitée.

**\* UNE PREPONDERANCE DU SOLAIRE ET DE LA BIOMASSE DANS L'APPORT DES ENERGIES NOUVELLES**

Solaire et biomasse constituent comparativement les deux plus importantes formes d'énergie nouvelles pour toutes les régions, exceptées les régions Parisienne et Méditerranée où le solaire arrive néanmoins en tête, laissant la seconde place respectivement aux pompes à chaleur et aux rejets thermiques.

Il convient toutefois de ne pas tirer de cette observation des conclusions défavorables aux autres sources d'énergie, compte tenu des arbitrages qu'il a parfois fallu opérer à leurs dépens (cas de la géothermie notamment) et des développements techniques qui peuvent survenir à moyen terme (géothermie à faible profondeur, stockage de l'énergie sous forme chaleur, par exemple).

**III. 1. 3. La contribution de l'électricité locale**

Les trois moyens locaux de production d'électricité peuvent apporter 82,5 TWh, 92,0 TWh ou 135,9 TWh, selon que l'on soit en présence des trois scénarios 2000 I, II et III, ce qui représente au mieux un doublement de la contribution initiale de 1975.

Ce rythme d'évolution apparaît bien inférieur à celui des énergies nouvelles dans le même laps de temps. En réalité, cette comparaison n'est pas significative à un tel niveau de globalisation puisque les énergies nouvelles ont un poids insignifiant en début de période, alors que l'hydraulique a connu un développement antérieur considérable.

Plus révélatrice, par contre, est l'analyse détaillée de l'offre selon les trois moyens de production d'électricité. Elle révèle des possibilités du côté de la production combinée urbaine et de la cogénération comparables au développement actuel de l'hydraulique (tableau 18).

**TABEAU 18**  
**APPORTS EN ELECTRICITE LOCALE**

Unité = 1 TWh

|                             | 1975        | 1985<br>II  | 2000<br>I   | 2000<br>II  | 2000<br>III  |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Hydraulique + Eolienne      | 59,6        | 66,0        | 66,0        | 70,0        | 76,5         |
| Production combinée urbaine | —           | 2,7         | 6,2         | 7,6         | 20,2         |
| Cogénération industrielle   | 6,7         | 10,3        | 10,3        | 14,4        | 39,2         |
| <b>TOTAL</b>                | <b>66,4</b> | <b>79,0</b> | <b>82,5</b> | <b>92,0</b> | <b>135,9</b> |

### III. 2. DIFFERENCIATION SPATIALE DE LA PENETRATION DES ENERGIES LOCALES ET REGIONALES

Avant de s'engager dans une analyse détaillée, par catégories et formes, de la pénétration des énergies locales et régionales, on peut faire le constat d'un rééquilibrage global de l'apport des énergies nouvelles au niveau des régions.

#### III. 2. 1. Une répartition plus homogène selon les régions

##### — UN REEQUILIBRAGE

En 1975, les trois quarts des énergies locales étaient produites dans trois régions seulement, à savoir : le Nord, l'Est et le Sud-Ouest. Cette concentration était essentiellement liée à l'exploitation des gisements de combustibles fossiles. La régression de cette exploitation, concomitante au développement d'autres formes d'énergie locales, produit une répartition régionale beaucoup plus homogène (cf. tableau 19). S'il demeure une certaine dispersion, défavorable notamment aux régions Nord et Massif Central, celle-ci tient, quant à elle, davantage aux effets d'un découpage en régions de tailles inégales qu'à une véritable disparité dans leurs potentialités énergétiques.

Du fait de ce rééquilibrage, le taux d'indépendance des régions s'échelonne de 10 à 36 % pour 2000 III, scénario où les énergies locales et régionales jouent le rôle le plus significatif. L'ensemble des régions se répartit entre ces deux extrêmes de la manière suivante :

- de 10 à 20 % : Nord, Région Parisienne, Ouest, Bassin Parisien ;
- de 20 à 30 % : Massif Central, Méditerranée, Sud-Ouest ;
- de 30 à 36 % : Rhône-Alpes et Est.

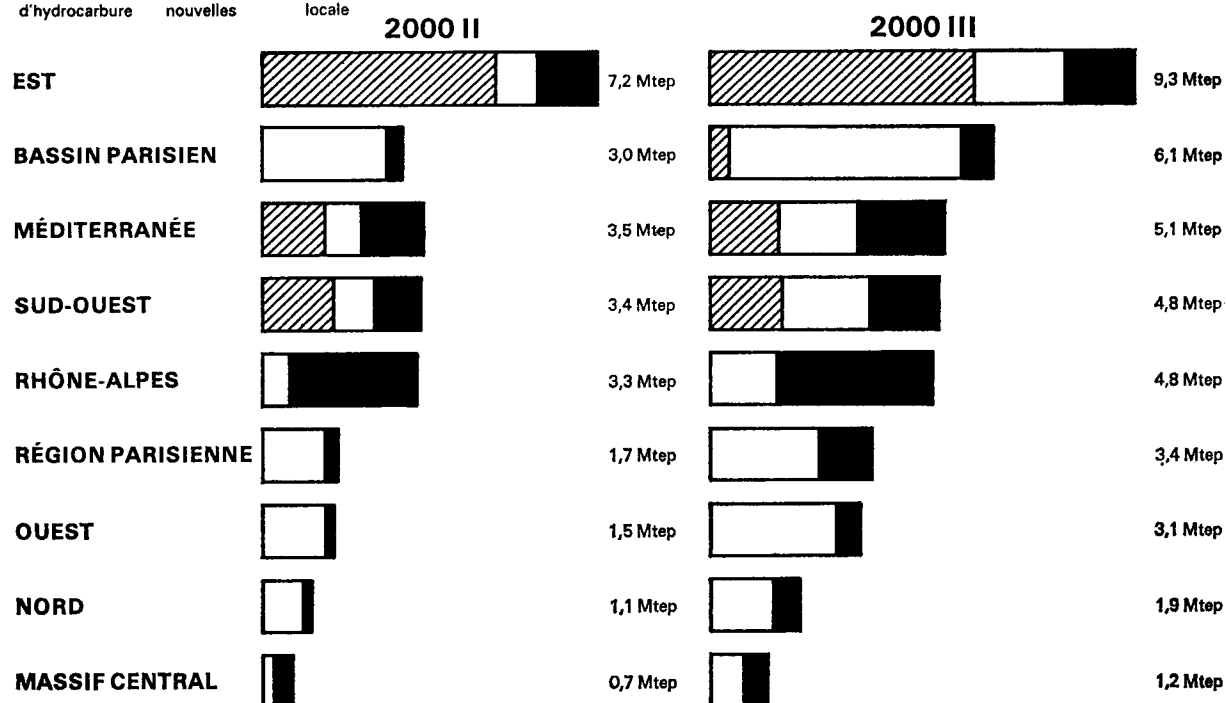
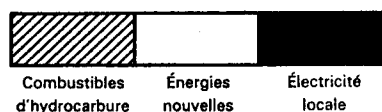
TABLEAU 19  
APPORT DES ENERGIES LOCALES ET REGIONALES  
REPARTITION PAR REGIONS

| REGION                   | 1975 | 1985<br>II | 2000<br>I | 2000<br>II | 2000<br>III |
|--------------------------|------|------------|-----------|------------|-------------|
| Région Parisienne        | —    | 4 %        | 4 %       | 7 %        | 9 %         |
| Bassin Parisien          | 5 %  | 7 %        | 8 %       | 12 %       | 15 %        |
| Nord                     | 16 % | 4 %        | 2 %       | 4 %        | 5 %         |
| Est                      | 25 % | 29 %       | 33 %      | 30 %       | 23 %        |
| Ouest                    | —    | 2 %        | 4 %       | 6 %        | 8 %         |
| Sud-Ouest                | 35 % | 32 %       | 16 %      | 11 %       | 12 %        |
| Massif Central           | 2 %  | 1 %        | 3 %       | 3 %        | 3 %         |
| Rhône-Alpes              | 9 %  | 11 %       | 15 %      | 13 %       | 12 %        |
| Méditerranée             | 8 %  | 10 %       | 15 %      | 14 %       | 13 %        |
| France (100 %)<br>(Mtep) | 29,1 | 24,4       | 18,0      | 25,4       | 39,6        |

Graphique 7

## APPORT DES ÉNERGIES LOCALES ET RÉGIONALES STRUCTURES RÉGIONALES

### LÉGENDE



### — DES DOMINANTES SUBSIDIAIRES

Derrière des potentialités assez homogènes selon les régions et, de surcroît, une ventilation interne assez équilibrée entre les trois grandes catégories d'énergies locales (cf. graphique 7), on observe à l'intérieur des régions quelques dominantes au profit de l'une de ces trois catégories :

- \* combustibles : Est ;
- \* énergies nouvelles : Bassin Parisien, Région Parisienne et Ouest ;
- \* électricité locale : Rhône-Alpes, Méditerranée.

Le tableau suivant résume les informations disponibles sur le taux d'indépendance énergétique (part des énergies locales dans la consommation finale) et sur la catégorie d'énergie locale prépondérante pour chaque région.

TABLEAU 20

| REGIONS           | ENERGIE LOCALE PREPONDERANTE |                |             |
|-------------------|------------------------------|----------------|-------------|
|                   | Combustibles                 | Energies nouv. | Electricité |
| Nord              |                              | ×              |             |
| Région Parisienne |                              | ×              |             |
| Ouest             |                              | ×              |             |
| Bassin Parisien   |                              | ×              |             |
| Massif Central    |                              | ×              |             |
| Méditerranée      |                              |                | ×           |
| Sud-Ouest         |                              | ×              |             |
| Rhône-Alpes       |                              |                | ×           |
| Est               | ×                            |                |             |
| FRANCE            |                              | ×              |             |

Il apparaît bien que dans la plupart des cas les énergies nouvelles assurent la plus grande part de l'approvisionnement local de chaque région. D'ailleurs, au plan national, les énergies nouvelles paraissent en mesure d'apporter pour 2000 III une contribution aussi importante que celle réunie des combustibles et de l'électricité produits localement, soit 19 Mtep et 21 Mtep.

Deux régions conservent une prépondérance de l'électricité : Méditerranée et Rhône-Alpes. Tel était aussi, en 1975, le cas pour le Massif Central. Une seule région garde la prépondérance des combustibles, l'Est, alors qu'en 1975 on pouvait compter aussi le Bassin Parisien, le Nord, le Sud-Ouest.

Au regard de la situation telle qu'elle existait en 1975, il faut noter que l'apport des énergies nouvelles dépasse en 2000 III l'apport hydro-électrique du Massif Central ou supprime l'apport des combustibles dans le Bassin Parisien, le Nord et le Sud-Ouest.

### III. 2. 2. Les combustibles et hydrocarbures

L'exploitation des gisements se répartit en 1975 de façon équilibrée entre trois régions qui apportent à elles seules 20 Mtep sur 23 : Nord et Est pour le charbon, et Sud-Ouest pour le gaz. Il ne subsiste en 2000 que 7 à 9 Mtep d'apport selon les scénarios, dont 5 à 6 Mtep pour le charbon de l'Est. Il y a donc quasiment restriction de la production à une seule région.

### III. 2. 3. Les énergies nouvelles

#### — UNE REPARTITION REGIONALE ASSEZ HOMOGENE

La répartition régionale des énergies nouvelles infirme l'idée de régions privilégiées. Toutes atteignent en 2000 un score de l'ordre de 1/10 du potentiel fixé au niveau national (cf. tableau 20). Deux distorsions apparaissent à première vue, à savoir : le Bassin Parisien avec des taux supérieurs à 25 %, et le Massif Central avec des taux de l'ordre de 4 %.

En fait, ces distorsions ne sont dues qu'aux conventions de départ sur le découpage régional, qui attribuent à ces deux régions des superficies et des populations très importantes ou très réduites par rapport à celles des autres régions.

Le relevé des pourcentages propres à chaque énergie nouvelle pour chaque région fait ressortir la prépondérance du solaire ou de la biomasse puisque l'une ou l'autre de ces sources d'énergie, et même généralement l'une et l'autre, arrivent en tête des contributions apportées par chacune des énergies nouvelles au niveau des régions.

TABLEAU 21

| REGIONS           | 1 <sup>re</sup> ENERGIE NOUVELLE | 2 <sup>e</sup> ENERGIE NOUVELLE |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Région Parisienne | Solaire                          | PAC                             |
| Nord              | »                                | Rejets thermiques ou biomasse   |
| Est               | »                                | Biomasse                        |
| Rhône-Alpes       | »                                | Biomasse                        |
| Méditerranée      | »                                | Rejets thermiques               |
| Bassin Parisien   | Biomasse                         | Solaire                         |
| Ouest             | »                                | »                               |
| Sud-Ouest         | »                                | »                               |
| Massif Central    | »                                | »                               |

Ces résultats sont particulièrement significatifs de l'importance du solaire et de la biomasse pour l'indépendance énergétique des régions. Il convient toutefois de ne pas en tirer de conclusions défavorables quant aux autres sources d'énergie, compte tenu des arbitrages qu'il a parfois fallu opérer à leurs dépens (géothermie) et les développements techniques qui peuvent survenir à moyen terme (géothermie et PAC notamment).

— SOLAIRE, DECHETS URBAINS ET P A C : TROIS ENERGIES  
A REPARTITION REGIONALE ASSEZ HOMOGENE (graphique 8)

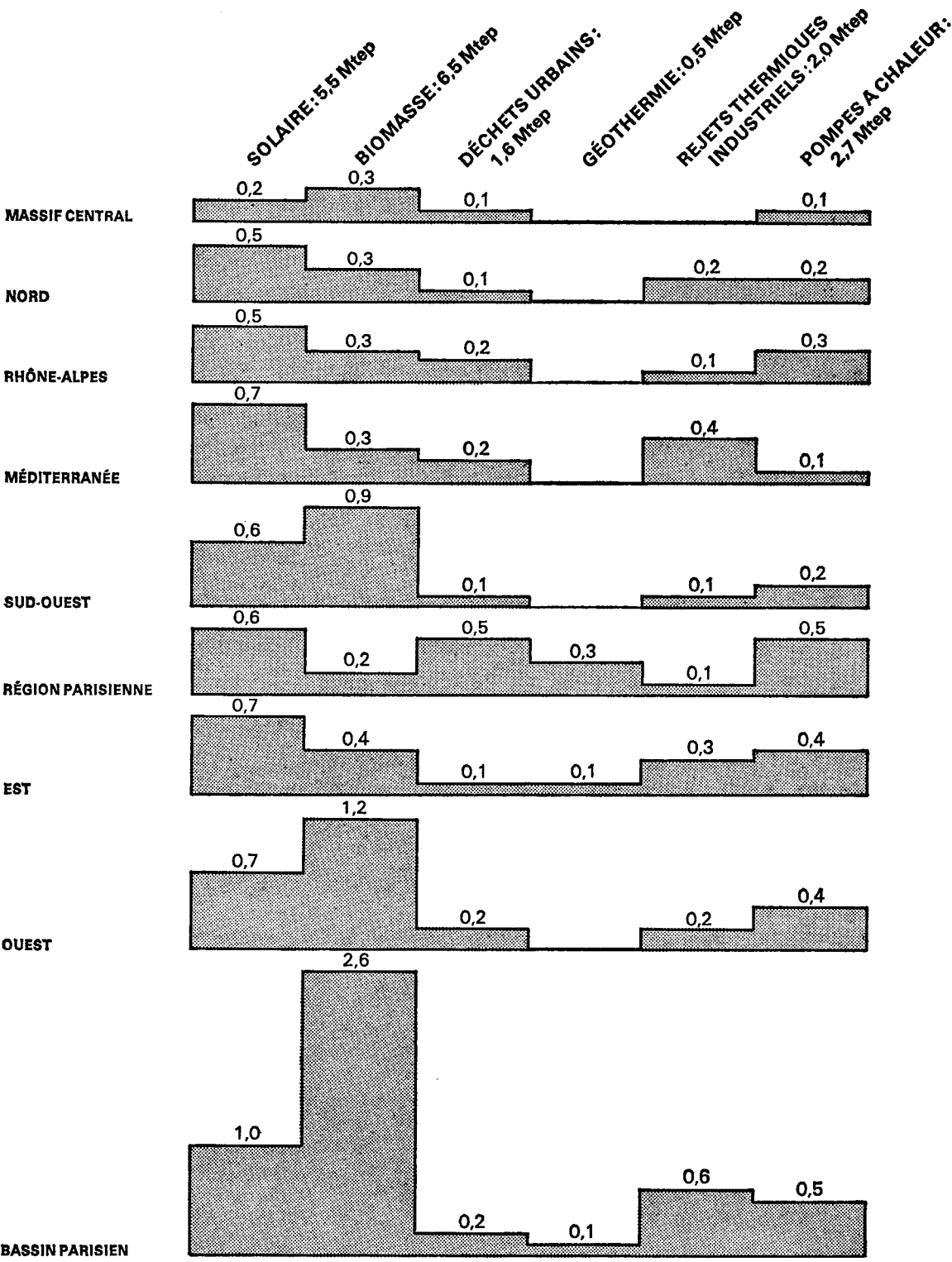
Ces trois sources d'énergie sont réparties régionalement selon une structure très voisine de celle de l'ensemble des énergies nouvelles.

Pour le solaire, on retrouve là une conséquence du fait que cette énergie est valorisée de façon presque homogène selon les régions dans les usages chauffage, à cause, rappelons-le, de la compensation entre la durée de la saison de chauffage et l'intensité de l'insolation. Le volume des déchets urbains est celui qui est directement lié à l'importance de la population urbaine des régions. Enfin, la pénétration des PAC est liée au rythme de la construction neuve, excepté dans les régions à climat doux, Méditerranée et Sud-Ouest, où leur compétitivité est moins nette. De ce fait, on n'attend pas pour cette source d'énergie une répartition aussi homogène que pour les deux précédentes.

— BIOMASSE, GEOTHERMIE, REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS :  
UNE REPARTITION TRES DESEQUILIBREE (graphique 8)

Ces trois sources d'énergie ont chacune quelques régions privilégiées quant à leurs possibilités de développement en l'état actuel de la technologie.

**Graphique 8 : ÉNERGIES NOUVELLES  
RÉPARTITION RÉGIONALE POUR 2000 III**





\* **La biomasse** est concentrée à 72 % en 2000 dans trois régions : Bassin Parisien, Ouest et Sud-Ouest. En fait, cette concentration régionale renvoie elle-même à une double spécialisation : la combustion des pailles de céréales dans le Bassin Parisien (40 % de l'apport national), la méthanisation des déchets animaux dans l'Ouest, le Sud-Ouest combinant à égalité les deux filières.

\* **La géothermie** ne joue un rôle significatif que dans la Région Parisienne, le Bassin Parisien et l'Est, compte tenu de la localisation des gisements et des agglomérations.

TABLEAU 22  
ENERGIES NOUVELLES — STRUCTURE REGIONALE

| REGIONS           | 1975 | 1985<br>II | 2000<br>I | 2000<br>II | 2000<br>III |
|-------------------|------|------------|-----------|------------|-------------|
| Région Parisienne | —    | 27 %       | 15 %      | 14 %       | 12 %        |
| Bassin Parisien   | —    | 27 %       | 29 %      | 27 %       | 27 %        |
| Nord              | —    | 5 %        | 6 %       | 8 %        | 7 %         |
| Est               | —    | 2 %        | 10 %      | 10 %       | 10 %        |
| Ouest             | —    | 10 %       | 13 %      | 13 %       | 14 %        |
| Sud-Ouest         | —    | 5 %        | 9 %       | 9 %        | 10 %        |
| Massif Central    | —    | 2 %        | 3 %       | 4 %        | 4 %         |
| Rhône-Alpes       | —    | 7 %        | 6 %       | 7 %        | 7 %         |
| Méditerranée      | —    | 5 %        | 9 %       | 8 %        | 9 %         |
| FRANCE (Mtep)     | —    | 3,2        | 4,0       | 9,7        | 18,8        |

Le développement de la géothermie à moyenne profondeur pourrait, il est vrai, contribuer à diffuser à l'avenir cette ressource sur un éventail de régions plus large. Mais elle nécessiterait une combinaison avec les PAC pour relever le niveau des températures des nappes concernées.

#### — LES REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS

Récupérables en quantités significatives, ils sont pour l'essentiel, quant à eux, localisés dans quatre régions : Bassin Parisien, Nord, Est et Méditerranée

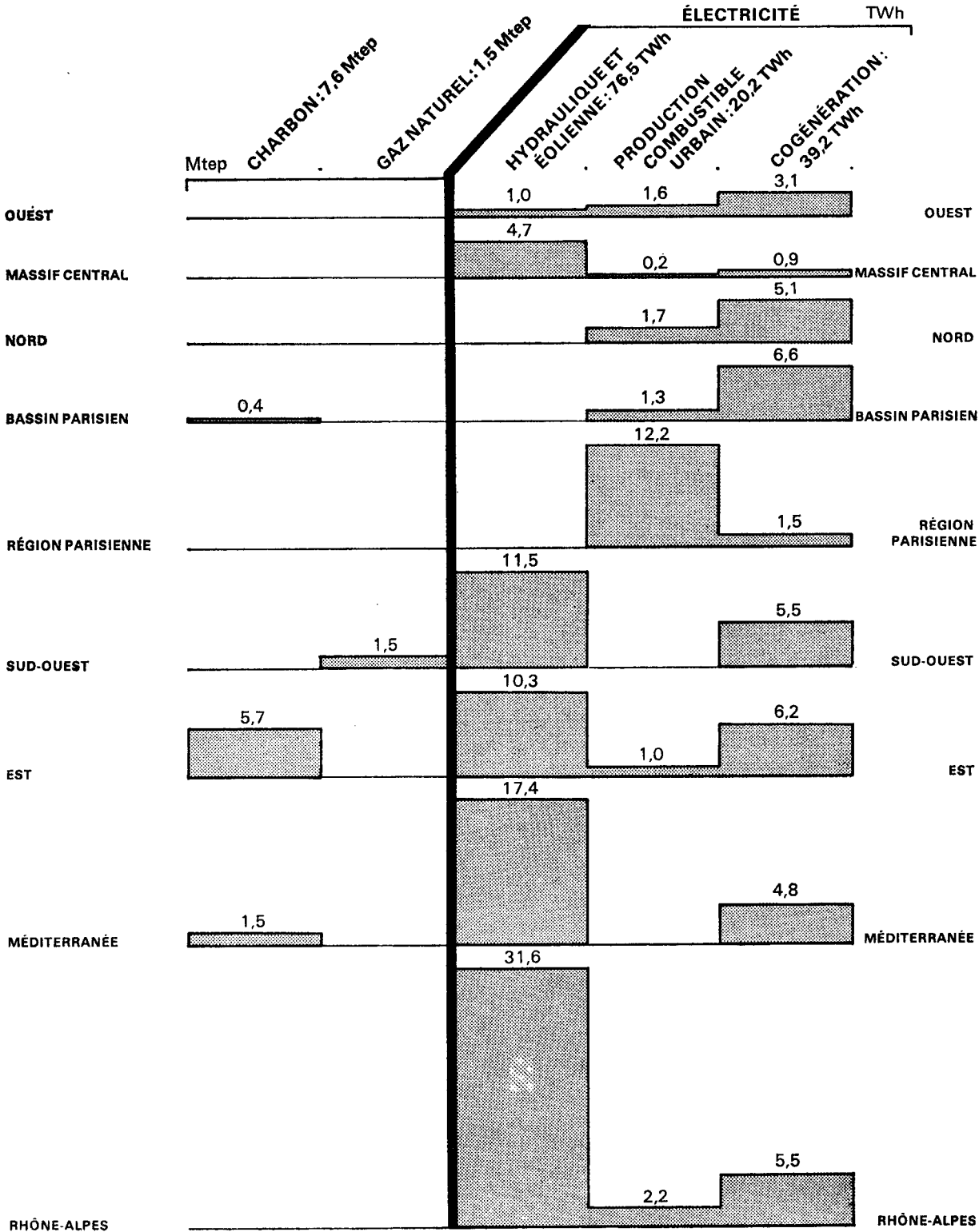
#### III. 2. 4. L'électricité locale et régionale (cf. tableau 23)

Ce type de production électrique ne représentera au mieux, dans le cas de 2000 III, que le double de la production hydroélectrique de 1975, notamment du fait du développement de la cogénération et de la production combinée. L'électricité éolienne ne semble par contre pas en mesure de jouer un rôle significatif à l'échelle nationale (potentiel inférieur à 1 TWh).

##### a) MAINTIEN DE LA PREDOMINANCE DES REGIONS HYDRAULIQUES (graphique 9)

Les grandes régions hydrauliques représentent à elles seules, en 1975, 90 % de la production électrique locale. Il s'agit des régions Est, Rhône-Alpes, Méditerranée et Sud-Ouest. Elles demeurent privilégiées en 2000, quels que soient les scénarios. Néanmoins, leur part dans l'approvisionnement électrique national descend à 76 % au profit d'un rééquilibrage en

**Graphique 9 : ÉNERGIES LOCALES ET RÉGIONALES  
RÉPARTITION RÉGIONALE POUR 2000 III**



faveur de la Région Parisienne et du Bassin Parisien avec le développement de la production combinée et de la cogénération dans ces deux régions.

**b) LA PRODUCTION COMBINEE URBAINE PROFITE SURTOUT A LA REGION PARISIENNE (graphique 8)**

La part de la Région Parisienne représente 40 % du montant national de production combinée urbaine dans 2000 I et 2000 II, et 60 % dans 2000 III. Bien entendu, il n'en irait pas de même en cas d'arbitrage plus favorable à la géothermie.

**TABLEAU 23**  
**ELECTRICITE LOCALE ET REGIONALE**  
**STRUCTURE REGIONALE**

| REGIONS           | 1975 | 1985<br>II | 2000<br>I | 2000<br>II | 2000<br>III |
|-------------------|------|------------|-----------|------------|-------------|
| Région Parisienne | —    | 2 %        | 3 %       | 4 %        | 10 %        |
| Bassin Parisien   | 3 %  | 3 %        | 4 %       | 5 %        | 6 %         |
| Nord              | 1 %  | 3 %        | 3 %       | 3 %        | 5 %         |
| Est               | 16 % | 15 %       | 15 %      | 15 %       | 13 %        |
| Ouest             | 1 %  | 2 %        | 3 %       | 3 %        | 4 %         |
| Sud-Ouest         | 17 % | 14 %       | 13 %      | 13 %       | 13 %        |
| Massif Central    | 5 %  | 5 %        | 5 %       | 5 %        | 4 %         |
| Rhône-Alpes       | 37 % | 36 %       | 35 %      | 34 %       | 29 %        |
| Méditerranée      | 20 % | 20 %       | 19 %      | 18 %       | 16 %        |
| FRANCE (TWh)      | 66,4 | 79,0       | 82,5      | 92,0       | 135,9       |

**c) LA COGENERATION EST REPARTIE DE FAÇON HOMOGENE SUR LE TERRITOIRE (graphique 9)**

La cogénération est assez bien répartie sur l'ensemble des régions, sauf dans la Région Parisienne dont la structure industrielle se prête moins à ce type de production énergétique.

**IV. BOUCLAGE DES BILANS REGIONAUX ET NATIONAUX EN ENERGIE FINALE**

La trame générale de la construction des scénarios de l'offre consiste à affecter tout d'abord les énergies locales aux composantes de la demande régionale de manière à obtenir la meilleure adéquation offre - demande. Cette étape vient d'être décrite et les résultats obtenus confirment le bien fondé de cette procédure, dans la mesure où cette offre en énergie locale n'excède jamais la demande d'énergie utile ou finale, quelles que soient les régions.

Ceci signifie donc que le bouclage de l'équilibre offre-demande (puisque l'offre en énergie locale n'excède jamais la demande régionale) doit être assuré par le recours à d'autres formes d'énergies finales qui ne peuvent être que des combustibles importés ou de l'électricité d'origine thermique. C'est précisément ce qui va être développé dans les pages suivantes.

Ce bouclage est envisagé ici en termes d'énergie consommée sous sa forme **finale**. Il se distingue donc du bouclage ultime en termes d'énergie primaire, dont les grands traits seront abordés en annexe X. Cette question déborde largement le thème de l'étude « énergie-régions » puisqu'elle concerne notamment toute la politique d'approvisionnement extérieur dont on connaît l'importance pour la France. De surcroît, ce bouclage en énergie primaire n'est envisagé, plus loin, qu'au seul niveau national. Un tel bouclage, s'il était effectué au niveau des régions, n'apporterait guère d'informations nouvelles quant à l'approvisionnement énergétique national et nécessiterait un lot d'hypothèses assez arbitraires sur les imputations régionales des pertes de transformation de l'énergie primaire en énergie finale (1).

En complément des bouclages régionaux et nationaux en énergie finale, et à partir des évaluations qui leurs correspondent, ont été établis des bilans électriques nationaux. La construction de ces bilans permet notamment de mesurer le recours qu'ils supposent de la part des centrales thermiques classiques et nucléaires et par là même d'en apprécier les conséquences en termes d'implantations et de capacités de production électrique régionales.

Sont donc examinés successivement :

- le bouclage des bilans régionaux et nationaux en énergie finale ;
- la construction des bilans électriques nationaux ;
- la localisation des centrales thermiques et ses incidences sur les bilans électriques régionaux.

#### **IV. 1. LE BOUCLAGE DES BILANS REGIONAUX ET NATIONAUX EN ENERGIE FINALE**

##### **IV. 1. 1. Méthode et principales conventions**

a) Ce bouclage ne soulève aucune difficulté de méthode puisqu'il consiste à solder les bilans offre - demande à l'aide deux catégories d'énergie appropriées :

- les combustibles importés : les trois formes, pétrole, gaz naturel, charbon, sont confondues en une seule catégorie, leur clef de répartition étant davantage imposée par des conditions commerciales ou stratégiques d'approvisionnement que par les spécifications des usages qui en sont faits ;
- l'électricité thermique classique ou nucléaire.

b) En réalité, chaque bilan se décompose lui-même en trois sous-bilans correspondant aux trois colonnes :

- combustibles et carburants
- énergies nouvelles
- électricité.

(1) Devrait-on par exemple affecter les pertes de raffinage ou les pertes de chaleur des centrales thermiques aux régions où les installations sont implantées, ou bien aux régions consommant l'énergie finale ?

TABLEAU 24

## APPORT DES COMBUSTIBLES IMPORTES ET DE L'ELECTRICITE THERMIQUE NATIONALE DANS LA CONSOMMATION FINALE

(en valeur absolue : Mtep (combustibles) et TWh (électricité) ; en valeur relative, respectivement par rapport à la demande finale de combustibles (combustibles et énergies nouvelles confondus) et à la demande finale d'électricité)

|          |  |                                                 | FRANCE     |           | REG. PAR.  |           | BASS. PAR. |           | NORD       |           | EST        |           | OUEST      |           | S.-OUEST   |           | MASS. CENT. |           | RH.-ALPES  |           | MEDIT.     |           |
|----------|--|-------------------------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|          |  |                                                 | Mtep Comb. | Elec. TWh | Mtep Comb. | TWh Elec. | Mtep Comb. | TWh Elec. | Mtep Comb. | TWh Elec. | Mtep Comb. | TWh Elec. | Mtep Comb. | TWh Elec. | Mtep Comb. | TWh Elec. | Mtep Comb.  | TWh Elec. | Mtep Comb. | TWh Elec. | Mtep Comb. | TWh Elec. |
| 1975     |  | en val. absolue                                 | 87         | 106       | 17,4       | 27        | 20,5       | 27        | 6,5        | 14        | 9,5        | 11        | 10,6       | 13        | 0,2        | 6         | 2,6         | 1         | 9,2        | 1         | 11,1       | 5         |
|          |  | en %                                            | 79         | 62        | 100        | 100       | 94         | 93        | 58         | 93        | 60         | 50        | 100        | 93        | 0          | 35        | 90          | 20        | 95         | 4         | 90         | 28        |
|          |  | rappel consom. finale de comb. et d'électricité | 110        | 172       | 17,4       | 27        | 21,7       | 29        | 11,3       | 15        | 15,8       | 22        | 10,6       | 14        | 8,9        | 17        | 2,9         | 5         | 9,7        | 2,5       | 12,3       | 18        |
| 1985 II  |  | en val. absolue                                 | 111        | 121       | 18,9       | 47        | 23,5       | 49        | 12,3       | 25        | 12,6       | 27        | 12,8       | 26        | 3,7        | 18        | 3,7         | 4         | 10,9       | 10        | 12,4       | 14        |
|          |  | en %                                            | 87         | 74        | 95         | 96        | 95         | 94        | 94         | 93        | 67         | 69        | 98         | 93        | 36         | 62        | 95          | 50        | 98         | 26        | 91         | 47        |
|          |  | rappel consom. finale de comb. et d'électricité | 128        | 300       | 19,8       | 49        | 24,8       | 52        | 13,1       | 27        | 18,9       | 39        | 13,1       | 28        | 10,3       | 29        | 3,8         | 8         | 11,1       | 38        | 13,6       | 30        |
| 2000 I   |  | en val. absolue                                 | 188        | 421       | 30,1       | 84        | 40,6       | 91        | 20,2       | 42        | 23,0       | 50        | 18,5       | 40        | 12,8       | 33        | 4,9         | 8         | 18,5       | 44        | 19,8       | 32        |
|          |  | en %                                            | 94         | 83        | 98         | 98        | 97         | 97        | 99         | 95        | 83         | 81        | 97         | 95        | 87         | 75        | 98          | 67        | 99         | 60        | 93         | 67        |
|          |  | rappel consom. finale de comb. et d'électricité | 199        | 504       | 30,7       | 86        | 41,8       | 94        | 20,4       | 44        | 27,8       | 62        | 19,0       | 42        | 14,7       | 44        | 5,0         | 12        | 18,7       | 73        | 21,2       | 48        |
| 2000 II  |  | en val. absolue                                 | 162        | 475       | 23,5       | 77        | 34,0       | 99        | 18,0       | 57        | 22,0       | 64        | 16,9       | 49        | 12,4       | 43        | 4,5         | 10        | 14,9       | 40        | 15,9       | 36        |
|          |  | en %                                            | 90         | 84        | 95         | 95        | 93         | 96        | 96         | 95        | 79         | 94        | 93         | 94        | 84         | 78        | 94          | 71        | 96         | 56        | 88         | 68        |
|          |  | rappel consom. finale de comb. et d'électricité | 180        | 567       | 24,8       | 81        | 36,6       | 103       | 18,8       | 60        | 28,0       | 78        | 18,2       | 52        | 14,8       | 55        | 4,8         | 14        | 15,5       | 71        | 18,0       | 53        |
| 2000 III |  | en val. absolue                                 | 122        | 249       | 18,8       | 38        | 22,2       | 62        | 13,5       | 24        | 14,3       | 32        | 14,0       | 33        | 11,4       | 28        | 3,8         | 7         | 10,7       | 6         | 13,4       | 20        |
|          |  | en %                                            | 81         | 64        | 90         | 73        | 80         | 89        | 91         | 77        | 65         | 64        | 84         | 85        | 77         | 62        | 84          | 54        | 88         | 13        | 81         | 48        |
|          |  | rappel consom. finale de comb. et d'électricité | 150        | 385       | 21,0       | 52        | 27,6       | 70        | 14,8       | 31        | 22         | 50        | 16,7       | 39        | 14,8       | 45        | 4,5         | 13        | 12,1       | 45        | 16,6       | 42        |

Mais le bilan « énergies nouvelles » est déjà équilibré par définition puisque la demande n'y figure que pour la part qui peut être satisfaite par l'offre disponible en telles formes d'énergie. Cette part de la demande, qui ne se rapporte qu'aux usages chaleur, est déduite de la demande globale de chaleur, l'autre part figurant dans les colonnes combustibles ou électricité.

c) A l'intérieur des colonnes, l'équilibre pourrait être recherché entre l'offre et les utilisations finales telles qu'elles ont été définies jusqu'à présent, l'ensemble des pertes de transformation du système énergétique et des pertes de transport-distribution n'étant prise en compte que dans le bouclage des bilans nationaux en énergie primaire. Il a été finalement exclu de la catégorie des utilisations finales les pertes de transformation qui sont essentiellement des pertes sous forme d'énergie primaire : pertes de raffinage ou pertes thermodynamiques des centrales électriques.

En revanche, les pertes de transport-distribution concernent exclusivement des formes d'énergie finale. Mais leur comptabilité n'est pas rigoureuse et une partie des pertes de transport des combustibles liquides est confondue avec la demande finale du secteur d'activité des transports. La comptabilité de ces pertes est donc implicite. Finalement, ne sont explicitement prises en compte que les pertes de transport de l'électricité, celles-ci étant réparties au prorata des utilisations finales de l'électricité par région (1). En conséquence, l'équilibre des bilans assure la couverture de la demande, y compris ces pertes. Par convention, nous désignerons par consommation finale les utilisations finales plus les pertes assurant l'équilibre des bilans.

#### **IV.1.2. Résultats du bouclage des bilans en énergie finale**

L'ensemble des bilans nationaux et régionaux en énergie finale sont regroupés en annexe 1. Une synthèse des résultats obtenus concernant les apports de combustibles importés et d'électricité thermique qui permettent de solder les bilans figure dans le tableau ci-contre (tableau 24).

Les valeurs indiquées en pourcentage constituent la part des combustibles importés rapportés à l'ensemble des consommations finales, combustibles et énergies nouvelles confondus d'un côté, la part d'électricité thermique dans la consommation finale d'électricité de l'autre.

##### **a) LES BILANS NATIONAUX**

Le taux de dépendance à l'égard des combustibles importés comme de l'électricité thermique ne semble pas pouvoir être réduit. Il paraît, au mieux, pouvoir être maintenu à son niveau actuel en 2000 III.

Les différenciations entre scénarios n'en sont pas moins très marquées. Les scénarios 2000 I et 2000 II se distinguent essentiellement par un déplacement de l'appel aux combustibles vers l'électricité. Le scénario III apparaît, quant à lui, très contrasté : au regard des scénarios 2000 I ou 2000 II, il ne requiert en effet que 65 ou 60 % d'importation de combustibles et 75 ou 52 % d'apport en électricité thermique.

(1) Les pertes de transport-distribution des combustibles sont en 1975 faibles par rapport à celles du réseau électricité. La disproportion s'accroîtra davantage avec l'extension des utilisations de l'électricité. Les pertes spécifiques de l'électricité ont constamment régressé en valeur relative de 1945 à 1975. La tendance actuelle étant plutôt inversée, on a retenu par hypothèse le taux de 1975 pour tous les scénarios aux horizons 1985 et 2000.

## **b) LES BILANS REGIONAUX**

En ce qui concerne la dépendance à l'égard des combustibles, la situation se dégrade nettement dans le temps pour les régions Nord et Sud-Ouest, en liaison avec la régression des gisements miniers et gaziers. Il s'opère par ailleurs une dégradation moindre mais uniforme de la situation des autres régions pour 2000 I et 2000 II, ce qui aboutit à une certaine homogénéisation de l'ensemble.

Cette homogénéisation se produit également pour 2000 III, mais sans dégradation d'ensemble par référence à 1975 du point de vue de la dépendance à l'égard des combustibles importés.

Du point de vue des bilans électriques, la dépendance s'accroît sensiblement en 2000 I et 2000 II pour toutes les régions hydrauliques dont le potentiel équipable s'amenuise : Est, Sud-Ouest, Massif Central, Rhône-Alpes, Méditerranée. Pour 2000 III, il se produit une certaine homogénéisation sans dégradation de la situation d'ensemble du fait du développement de la production combinée urbaine et de la cogénération industrielle : néanmoins, Rhône-Alpes demeure exceptionnellement privilégiée vis-à-vis des autres régions avec un taux de dépendance de 13 % contre une moyenne nationale de 64 %.

## **IV. 2. BILANS ELECTRIQUES NATIONAUX (tableau 25)**

Le bouclage des bilans en énergie finale a permis de déterminer la part des consommations régionales d'électricité qui devrait être satisfaite par la production des centrales thermiques. Il s'agit ici d'en apprécier l'incidence régionale du point de vue des implantations de centrales dans les différents scénarios et d'évaluer les excédents ou déficits qui en résultent, même si ceux-ci se compensent mutuellement au niveau national. Mais, au préalable, il convient de préciser le supplément de demande d'électricité nécessaire au fonctionnement propre du secteur énergétique de façon à déterminer la contribution totale demandée à l'électricité thermique.

### **a) LES AUTO-CONSOMMATIONS DU SECTEUR ENERGETIQUE**

L'essentiel de ces auto-consommations est lié à l'alimentation des usines d'enrichissement de l'uranium. Par hypothèse, la consommation d'Eurodif a été supposée de 25 TWh pour 1985 II et les trois scénarios 2000. Le scénario 2000 II suppose en sus une consommation de 25 TWh pour une unité supplémentaire d'enrichissement à installer dans le Nord.

Les autres auto-consommations du secteur énergétique sont liées à l'activité des houillères et à l'exploitation ou au raffinage du pétrole. L'ensemble ne représente que 4,6 TWh en 1975. Son niveau ultérieur a été supposé décroître proportionnellement au niveau d'activité de ces composantes.

### **b) LES CAPACITES DE PRODUCTION THERMIQUE**

Les capacités de production thermique sont déterminées par le solde des bilans électriques nationaux ci-contre, les capacités installées pour l'enrichissement étant prises simultanément du côté de l'offre et de la demande. Ce solde nécessite en outre une répartition entre thermique classique et nucléaire. Les clefs de répartition ont été établies à partir des conventions suivantes :

— pour 1985 II, on retient une capacité nucléaire conforme aux prévisions officielles établies fin 1978 (1), soit 183 TWh en fonction de l'estimation usuelle d'une production annuelle de 5,4 TWh pour 1 000 MW (2). La production thermique classique s'élève alors à 41 TWh ;

— pour 2000 II, on suppose entièrement équipés tous les sites officiellement retenus fin 1978 (3), ce qui représente 425 TWh (4) et nécessite un complément de 53 TWh thermiques classiques ;

— pour 2000 I et 2000 III, où la demande électrique est moins élevée, on a conservé par hypothèse le même niveau de production thermique classique que pour 2000 II, soit 53 TWh. La contribution du thermique nucléaire est alors respectivement de 372 et 199 TWh.

L'ensemble de ces hypothèses a permis d'établir les bilans électriques nationaux ci-contre (tableau 25).

---

(1) Source : Direction Equipement d'EDF, rapporté par Enerpresse du 22-11-1978.

(2) Il s'agit bien entendu d'une hypothèse, compte tenu des marges d'incertitude sur l'avancement du programme de construction des centrales, leur montée en puissance ou leur disponibilité.

(3) Source : Département des programmes du CEA (Notes d'information du CEA, décembre 1978).

(4) On se réfère toujours à une production de 5,4 TWh par 1 000 MW, la plus grande maturité technique du parc étant compensée par les effets de la montée du nucléaire dans le diagramme de charge.



TABLEAU 25

## BILAN ELECTRIQUE NATIONAL PAR SCENARIO

Unité = 1 TWh

| 1975          |                               | OFFRE |                                                | DEMANDE |  |
|---------------|-------------------------------|-------|------------------------------------------------|---------|--|
| Locale        | Hydraulique et éolienne       | 59,7  | Utilisations finales                           | 159,3   |  |
|               | Product. combinée urb.        | —     |                                                |         |  |
|               | Cogénération industrielle     | 6,7   |                                                |         |  |
| Nationale     | Thermique classique           | 94,6  | Pertes transport électricité                   | 12,5    |  |
|               | Nucléaire réseau              | 15,4  | Pertes et auto-consomm. du secteur énergétique | 4,6     |  |
|               | Nucléaire enrich <sup>t</sup> | —     | Nucléaire enrich <sup>t</sup>                  | —       |  |
| TOTAL GENERAL |                               | 176   | TOTAL GENERAL 176                              |         |  |

| 1985 II       |                               | OFFRE |                                                | DEMANDE |  |
|---------------|-------------------------------|-------|------------------------------------------------|---------|--|
| Locale        | Hydraulique et éolienne       | 66,0  | Utilisations finales                           | 277,8   |  |
|               | Product. combinée urb.        | 2,7   |                                                |         |  |
|               | Cogénération industrielle     | 10,3  |                                                |         |  |
| Nationale     | Thermique classique           | 40,9  | Pertes transport électricité                   | 21,8    |  |
|               | Nucléaire réseau              | 183,2 | Pertes et auto-consomm. du secteur énergétique | 3,5     |  |
|               | Nucléaire enrich <sup>t</sup> | 25,0  | Nucléaire enrich <sup>t</sup>                  | 25,0    |  |
| TOTAL GENERAL |                               | 328   | TOTAL GENERAL 328                              |         |  |

| 2000 I        |                               | OFFRE |                                                | DEMANDE |  |
|---------------|-------------------------------|-------|------------------------------------------------|---------|--|
| Locale        | Hydraulique et éolienne       | 66,0  | Utilisations finales                           | 467,3   |  |
|               | Product. combinée urb.        | 6,2   |                                                |         |  |
|               | Cogénération industrielle     | 10,3  |                                                |         |  |
| Nationale     | Thermique classique           | 53,1  | Pertes transport électricité                   | 36,7    |  |
|               | Nucléaire réseau              | 371,9 | Pertes et auto-consomm. du secteur énergétique | 3,6     |  |
|               | Nucléaire enrich <sup>t</sup> | 25,0  | Nucléaire enrich <sup>t</sup>                  | 25,0    |  |
| TOTAL GENERAL |                               | 533   | TOTAL GENERAL 533                              |         |  |

TABLEAU 25 (suite)  
**BILAN ELECTRIQUE NATIONAL PAR SCENARIO**

Unité = 1 TWh

| 2000 II       |                               | OFFRE | DEMANDE                                        |       |
|---------------|-------------------------------|-------|------------------------------------------------|-------|
| Locale        | Hydraulique et éolienne       | 70,0  | Utilisations finales                           | 526,0 |
|               | Product. combinée urb.        | 7,6   |                                                |       |
|               | Cogénération industrielle     | 14,4  |                                                |       |
| Nationale     | Thermique classique           | 53,1  | Pertes transport électricité                   | 41,3  |
|               | Nucléaire réseau              | 425,9 | Pertes et auto-consomm. du secteur énergétique | 3,7   |
|               | Nucléaire enrich <sup>t</sup> | 50,0  | Nucléaire enrich <sup>t</sup>                  | 50,0  |
| TOTAL GENERAL |                               | 621   | TOTAL GENERAL                                  | 621   |

| 2000 III      |                               | OFFRE | DEMANDE                                        |       |
|---------------|-------------------------------|-------|------------------------------------------------|-------|
| Locale        | Hydraulique et éolienne       | 76,5  | Utilisations finales                           | 357,3 |
|               | Product. combinée urb.        | 20,2  |                                                |       |
|               | Cogénération industrielle     | 39,2  |                                                |       |
| Nationale     | Thermique classique           | 53,1  | Pertes transport électricité                   | 28,1  |
|               | Nucléaire réseau              | 199,3 | Pertes et auto-consomm. du secteur énergétique | 2,9   |
|               | Nucléaire enrich <sup>t</sup> | 25,0  | Nucléaire enrich <sup>t</sup>                  | 25,0  |
| TOTAL GENERAL |                               | 413   | TOTAL GENERAL                                  | 413   |

### IV. 3. LA LOCALISATION DES CENTRALES THERMIQUES ET SES CONSEQUENCES SUR LES BILANS ELECTRIQUES REGIONAUX

#### IV. 3. 1. Localisation des centrales thermiques

La contribution de chacun des moyens de production d'électricité étant précisée au niveau national, il reste à répartir celle-ci parmi les régions. Cette répartition ayant déjà été effectuée pour les moyens de production locaux d'électricité, les seules hypothèses à fixer portent sur les moyens de production thermique. Plusieurs hypothèses ou objectifs ont été pris en compte pour définir celles-ci :

##### a) HYPOTHESES

— prise en compte des capacités installées en 1975 pour la production thermique classique en 1985 (1) ;

(1) Cf. Annexe IX.

- implantation d'Eurodif (25 TWh) dans Rhône-Alpes pour tous les scénarios et de Corrédif (25 TWh) dans le Nord pour 2000 II ;
- localisation des tranches nucléaires sur les listes prévues pour 1985 et 2000 ;
- déclasserement du nucléaire installé avant 1975 entre 1985 et 2000.

#### b) OBJECTIFS

- minimisation des déficits et excédents régionaux (1) ;
- priorité à la façade Atlantique pour l'implantation du thermique classique ;
- seuil de 4 TWh pour l'implantation d'une centrale thermique dans une région.

Ce qui donne la répartition figurant dans le tableau suivant (les capacités d'enrichissement étant incluses dans les capacités nucléaires des régions concernées) [tableau 26].

TABLEAU 26  
PRODUCTION D'ELECTRICITE THERMIQUE PAR REGION ET PAR SCENARIO

Unité : 1 TWh

|               | 1975   |       | 1985 II |       | 2000 I |       | 2000 II |       | 2000 III |       |
|---------------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|----------|-------|
|               | Class. | Nucl. | Class.  | Nucl. | Class. | Nucl. | Class.  | Nucl. | Class.   | Nucl. |
| Région Paris. | 24,9   | —     | 17,0    | —     | 17,0   | 10,8  | 17,0    | 13,7  | 17,0     | —     |
| Bassin Paris. | 13,4   | 9,0   | 5,0     | 75,9  | 5,0    | 132,6 | 5,0     | 150,1 | 5,0      | 81,9  |
| Nord          | 15,4   | —     | —       | 20,0  | —      | 20,0  | —       | 45,0  | —        | 20,0  |
| Est           | 12,4   | —     | 6,9     | 9,8   | 6,9    | 31,5  | 11,9    | 37,3  | 6,9      | 9,8   |
| Ouest         | 6,0    | 0,4   | 12,0    | 0,4   | 20,0   | 43,8  | 15,0    | 55,5  | 20,0     | 15,0  |
| Sud-Ouest     | 11,4   | —     | —       | 20,0  | 4,2    | 42,2  | 4,2     | 48,1  | 4,2      | 20,0  |
| Massif Cent.  | —      | —     | —       | —     | —      | —     | —       | —     | —        | —     |
| Rhône-Alpes   | 4,1    | 2,9   | —       | 80,6  | —      | 93,9  | —       | 98,2  | —        | 77,7  |
| Méditerranée  | 5,9    | 1,7   | —       | 1,7   | —      | 22,2  | —       | 28,1  | —        | —     |
| FRANCE        | 94     | 14    | 41      | 208   | 53     | 397   | 53      | 476   | 53       | 224   |

Au vu de ces résultats, on peut faire plusieurs observations :

- 2000 III et 1985 II ont pratiquement la même structure régionale d'implantation des centrales thermiques classiques ou nucléaires, à cette différence près qu'en 2000 III la capacité totale de la région Ouest doit être accrue de 23 TWh ;
- le parc du thermique classique est peu différent selon les scénarios, sinon que 2000 II implique une plus forte capacité de production dans l'Est au détriment de l'Ouest ;
- le parc du thermique nucléaire en 2000 III est considérablement réduit dans toutes les régions en comparaison de ce qu'il est pour 2000 I ou 2000 II. Rhône-Alpes fait cependant exception compte tenu du remplissage des sites antérieurs à 1985.

(1) Ces déficits et excédents résultent la différence entre, d'un côté consommations finales ou pertes du secteur énergétique, et d'un autre côté l'apport de tous les moyens de production électriques.

#### IV. 3. 2. Conséquences sur les bilans électriques régionaux

En application des hypothèses précédentes, les moyens de production électrique retenus pour chaque région assurent la satisfaction de la consommation finale et des autoconsommations du secteur énergétique. Cependant, cet équilibre n'est atteint au niveau national que par compensation des excédents et déficits régionaux. Ces excédents et déficits figurent dans le tableau suivant sous forme de ratios rapportés à la demande finale de la France, les autoconsommations du secteur énergétique étant incluses.

TABLEAU 27  
POURCENTAGE D'EXCEDENT OU DE DEFICIT REGIONAUX D'ELECTRICITE  
PAR RAPPORT A LA DEMANDE TOTALE DE LA FRANCE

|                   | 1975    | 1985 II  | 2000 I   | 2000 II | 2000 III |
|-------------------|---------|----------|----------|---------|----------|
| Région Parisienne | — 1,3 % | — 9,5 %  | — 10,7 % | — 7,6 % | — 5,2 %  |
| Bassin Parisien   | — 2,8 % | + 9,3 %  | + 8,7 %  | + 9,0 % | + 6,0 %  |
| Nord              | + 0,7 % | — 1,5 %  | — 4,2 %  | — 6,0 % | — 1,1 %  |
| Est               | + 0,3 % | — 3,4 %  | — 2,2 %  | — 2,6 % | — 3,8 %  |
| Ouest             | — 3,9 % | — 4,1 %  | + 4,5 %  | + 3,4 % | + 0,3 %  |
| Sud-Ouest         | + 2,9 % | + 0,6 %  | + 2,5 %  | + 1,5 % | — 1,1 %  |
| Massif Central    | — 0,7 % | — 1,3 %  | — 1,5 %  | — 1,6 % | — 1,7 %  |
| Rhône-Alpes       | + 3,3 % | + 13,8 % | + 4,6 %  | + 5,2 % | + 11,3 % |
| Méditerranée      | + 1,6 % | — 3,9 %  | — 1,9 %  | — 1,3 % | — 5,0 %  |
| FRANCE (TWh)      | 176     | 328      | 532      | 621     | 413      |

Ce tableau conduit notamment à faire deux observations :

— Pour 1985, si l'on tient compte du fait que le Bassin Parisien et la Région Parisienne ne constituent en fait qu'une seule région, il apparaît une seule région excédentaire, Rhône-Alpes, alors que trois régions sont significativement déficitaires : Ouest, Est et Méditerranée. On doit noter que le déficit de l'Ouest serait sensiblement plus fort si l'on n'y avait prévu un accroissement de 6 TWh de la production thermique classique entre 1975 et 1985 II.

— On peut reprendre des conclusions très voisines pour 2000 I et, compte tenu du faible accroissement du parc de production par rapport à 1985 II, l'Ouest est toutefois un peu moins défavorisé qu'en 1985, en supposant un accroissement du parc classique entre 1985 et 2000 III.

— Pour 2000 I et 2000 II, il s'opère une réduction des déséquilibres comparativement à 1985 II ou à 2000 III, Rhône-Alpes demeurant toujours excédentaire tandis que le Nord devient sensiblement déficitaire.

En définitive, ces constats découlent essentiellement du programme d'implantations nucléaires en cours, lequel privilégie largement Rhône-Alpes avant 1985, même si un rééquilibrage géographique est prévu ultérieurement.

# Conclusion

Les résultats de cette étude peuvent être appréciés de deux points de vue : d'une part, en termes d'**énergie finale**, qui se révèlent pertinents pour analyser l'offre et la demande d'énergie aussi bien au niveau national que régional ; d'autre part, en termes d'**énergie primaire**, ce qui introduit une autre dimension, à savoir les incidences de ces résultats d'offre-demande sur la politique d'approvisionnement énergétique national.

## I. LES RESULTATS D'OFFRE ET DEMANDE EN ENERGIE FINALE AU REGARD DES HYPOTHESES DE CHAQUE SCENARIO

a) Il paraît préférable de limiter les commentaires des résultats aux seuls scénarios II (« la relance nationale ») et III (« la nouvelle croissance »). Trois considérations risquent en effet d'affaiblir la crédibilité du scénario énergétique issu des orientations du scénario I (« Un nouveau libéralisme ») :

— l'augmentation probable dans l'avenir du prix du pétrole rend la réalisation des grands équilibres comptables — notamment celui de la balance des paiements — plus difficile à atteindre, même dans l'hypothèse d'une adaptation permanente de la société française à la nouvelle division internationale du travail ;

— dans un monde d'incertitude et de complexité croissante, il semble de plus en plus hasardeux de laisser aux seuls mécanismes du marché la responsabilité des arbitrages dans le domaine des approvisionnements énergétiques ;

— enfin, comme les scénarios I et II constituent les variantes proches d'un même type de société, il semble plus pertinent de se limiter aux scénarios II et III, de façon à mieux faire apparaître la comparaison de deux situations énergétiques très contrastées correspondant à deux types de sociétés sensiblement différents.

b) Comme dans tous les exercices usuels de prospective **énergétique** consacrés à des variantes de scénarios tendanciels orientés, les différences sont peu visibles à l'horizon 1985, mais, par contre, nettement plus marquées à l'horizon 2000 pour ces deux scénarios (II et III).

En effet, à l'horizon 2000, la situation n'est pas aussi « figée » que celle de 1985. Un certain nombre de changements, dont l'hypothèse de réalisation est posée à l'horizon des quinze prochaines années, ouvrent un large éventail de possibilités et accentuent les contrastes entre les diverses trajectoires économiques et énergétiques envisagées. Cela apparaît nettement à la lecture des bilans en énergie finale (2000 II et 2000 III).

Les niveaux de consommation totale diffèrent peu entre les scénarios I et II, même si les structures d'offre et de demande par forme d'énergie

divergent notablement. Le scénario III, en revanche, se distingue aussi bien par le volume de la consommation totale que par sa répartition entre secteurs utilisateurs ou entre formes d'énergie : les quantités d'énergie consommées en 2000 III sont globalement inférieures de 90 Mtep à celles requises pour I et II.

Dans le cadre de la politique de mise en valeur intensive des approvisionnements locaux, qui caractérise ce scénario, les nouvelles formes d'énergie parviennent à totaliser 19 Mtep ; mais on peut estimer qu'en raison des méthodes de comptabilisation, cet apport est en fait **minoré** et que les économies en combustibles et en électricité réalisées à la suite de la pénétration de ces énergies dans les divers types d'usages thermiques se situeraient plutôt aux alentours de 25-30 Mtep. En tout état de cause, ces énergies permettront au mieux en 2000 de compenser la diminution de la production nationale de charbon et la quasi disparition de celle du gaz. Par comparaison, l'écart de consommation du scénario III avec les deux premiers scénarios représente plus de trois fois ce potentiel ( $\approx 60$  Mtep), ce qui montre l'importance des marges de manœuvre pouvant moduler aussi bien la demande que l'offre. La prépondérance des hypothèses sociétales sur les résultats énergétiques montre clairement la nécessité d'une politique de l'énergie débordant le seul secteur de l'énergie.

Le contraste entre les scénarios se retrouve, à l'échelon des régions, dans le domaine énergétique. Avec le scénario III, chaque région est à même de tirer profit de ses spécificités, qui pour le solaire, qui pour la biomasse ou qui pour les rejets thermiques industriels ; mais la « ponction » (renouvelable) sur la nature demeure approximativement de même ampleur dans tous les cas, chaque région disposant de ressources propres qui viennent se substituer aux énergies traditionnelles dans une proportion relativement constante.

Les résultats du scénario III soulèvent néanmoins deux types de questions : les unes sont liées aux conditions socio-institutionnelles de sa « faisabilité », les autres à la possibilité d'étendre les résultats obtenus à des échelons géographiques inférieurs aux régions :

— En ce qui concerne la « faisabilité » du scénario, on peut en effet s'interroger sur la nature et l'importance des impulsions qui conditionnent sa réalisation, tant pour ce qui a trait à une plus grande maîtrise de l'évolution de la demande qu'à la part des énergies locales et régionales. Sans vouloir conclure ici à ce sujet, il est surtout permis de se demander si des transformations institutionnelles, pouvant éventuellement s'intégrer dans un processus de décentralisation, ne constituent pas, sinon une condition nécessaire, du moins une condition favorable à la réalisation de ce scénario.

— L'homogénéité des régions quant aux possibilités de limitation de la demande et des potentialités d'offre à partir des énergies locales et régionales (ZEAT modifiées) se retrouve-t-elle aux échelons géographiques inférieurs tels ceux des départements ou des agglomérations ? Il est permis d'en douter. Il n'en demeure pas moins, cependant, que la recherche de l'adéquation offre-demande d'énergie qui conditionne la réussite de ces objectifs ne peut être réalisée que si elle est accompagnée d'une intervention cohérente à ces échelons. Celle-ci suppose pour le moins le libre accès aux données statistiques de production et de consommation locales d'énergie que rien ne garantit à l'heure actuelle, et une définition claire des prérogatives et moyens des collectivités locales en la matière.

c) Ces questions conduisent à rappeler les deux limites de ce travail, qui viennent nuancer la portée des conclusions précédemment exposées.

D'une part, les connaissances sur le potentiel national et régional des énergies nouvelles et locales sont encore fragmentaires, voire embryonnaires ; des travaux complémentaires par filière technique et sur des

espaces géographiques plus réduits paraissent indispensables. On peut rappeler à cette occasion que dans l'évaluation du potentiel de la biomasse celui du bois n'a pu — faute d'informations et de travaux pertinents — être intégré.

D'autre part, cette étude « énergie - régions » repose essentiellement sur une méthode de régionalisation de résultats nationaux : l'avantage d'une certaine cohérence est compensé par l'absence d'une vision intrarégionale plus opérationnelle pour les acteurs régionaux.

d) Du point de vue de l'aménagement du territoire, les résultats en termes d'offre et de demande d'énergie auxquels aboutit l'étude dépendent logiquement des grandes orientations de chaque scénario : la démarche suivie, déduisant la définition des politiques énergétiques de celles des scénarios de société, conduit à des conclusions, du point de vue du resserrement ou de l'accroissement des inégalités régionales dans le domaine énergétique, pour l'essentiel conformes à celles des hypothèses faites dans le domaine de la répartition spatiale des activités économiques. Les effets en retour sur le dynamisme régional du type de développement énergétique induit dans chaque région par les scénarios n'ont donc été ni analysés ni pris en compte.

## **II. COMPARAISON DES PERSPECTIVES D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE PRIMAIRE AU NIVEAU NATIONAL AVEC CELLES DU PLAN**

Les méthodes utilisées pour passer du bilan national en énergie finale au bilan national en énergie primaire ont été exposées en annexe X.

Les résultats obtenus — qui ne font que suggérer des esquisses de stratégies d'approvisionnement — sont à rapprocher des perspectives — encore provisoires — du Commissariat Général au Plan pour l'année 2000.

Ces perspectives ont été différenciées, comme dans la présente étude, entre deux scénarios : l'un à croissance soutenue, l'autre à croissance modérée. Le tableau 28 résume les principaux éléments chiffrés résultant de la comparaison des deux familles de scénarios. Pour situer les amplitudes des inflexions et les vitesses (ou délais) de changement, les chiffres correspondant à l'approvisionnement de l'année 1977 ont été rappelés.

TABLEAU 28

## COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LES SCENARIOS DU CCP ET DE L'IEJE EN 2000

| Nom du scénario                                                | CGP 2000<br>croissance soutenue | IEJE 2000<br>scénario II    | CGP 2000<br>croissance modérée | IEJE 2000<br>scénario III |                          |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Taux de croissance<br>de l'économie sur la période             | + 4,5 %/an<br>(1977 - 2000)     | + 4,5 %/an<br>(1975 - 2000) | + 3 %/an<br>(1977 - 2000)      | + 3 %/an<br>(1975 - 2000) |                          |
| Taux de croissance<br>des consommations<br>en énergie primaire | + 3,1 %/an                      | + 2,8 %/an                  | + 2,3 %/an                     | + 1,5 %/an                | Rappel<br>situation 1977 |
| Consommation<br>en énergie primaire                            | 360 Mtep                        | 326 Mtep                    | 300 Mtep                       | 238 Mtep                  | 178 Mtep                 |
| dont électricité                                               | 650 TWh                         | 621 TWh                     | 540 TWh                        | 413 TWh                   | 192 TWh                  |
| APPROVISIONNEMENT                                              |                                 |                             |                                |                           |                          |
| Combustibles                                                   | 202 Mtep (56 %)                 | 195 Mtep (60 %)             | 173 Mtep (58 %)                | 152 Mtep (64 %)           | 156 Mtep (88 %)          |
| Energies nouvelles                                             | 19 Mtep (5 %)                   | 10 Mtep (3 %)               | 15 Mtep (5 %)                  | 19 Mtep (8 %)             | ε                        |
| Nucléaire<br>(électricité et autres)                           | 123 Mtep (34 %)                 | 105,5 Mtep (32 %)           | 96 Mtep (32 %)                 | 50 Mtep (21 %)            | 5 Mtep (2 %)             |
| Hydraulique                                                    | 16 Mtep (5 %)                   | 15,5 Mtep (5 %)             | 16 Mtep (5 %)                  | 17 Mtep (7 %)             | 17 Mtep (10 %)           |
| Taux de dépendance                                             | 58 - 60 %                       | 57,5 %                      | 58 - 60 %                      | 60 %                      | 74 %                     |



Avec des hypothèses identiques de taux de croissance, les niveaux de consommation énergétique en 2000 sont un peu plus bas dans les scénarios de l'IEJE : les écarts portent surtout sur le scénario à croissance dite modérée. Le tableau ci-dessous résume les valeurs prises par l'élasticité de la consommation d'énergie par rapport à celle de la PIB — défini par le rapport du taux de croissance de la première par rapport à celui de la seconde — dans les quatre scénarios.

| Année 2000                                                                                          | CGP (1)<br>crois. soutenue | IEJE<br>II | CGP<br>crois. modérée | IEJE<br>III |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------|-----------------------|-------------|
| Valeur de l'élasticité                                                                              | 0,69                       | 0,62       | 0,77                  | 0,5         |
| $\frac{\text{taux de croissance de la consommation énergétique}}{\text{taux de croissance du PIB}}$ |                            |            |                       |             |

Pour situer ces chiffres par rapport aux trends historiques, on rappellera qu'avant 1974, le taux de croissance de la consommation d'énergie était à peu près identique à celui de la PIB (valeur de l'élasticité 0,95).

On peut déduire de ces observations, et du fait que dans les scénarios du CGP la contribution du nucléaire est relativement peu différenciée entre les deux scénarios (123 Mtep et 96 Mtep), que le scénario de croissance modérée du CGP doit être considéré plutôt comme une variante du scénario de croissance soutenue que comme un scénario contrasté. Dans la présente étude, la démarche inverse a été retenue : on y oppose deux scénarios contrastés afin de mieux mettre en lumière les écarts de consommation qui pourraient apparaître au niveau des régions.

Il est curieux de noter en conclusion que les taux de dépendance sont assez proches les uns des autres, quels que soient les scénarios, même si en valeur absolue il en va autrement.

(1) CGP : Commissariat Général au Plan.

---

# ANNEXES

---

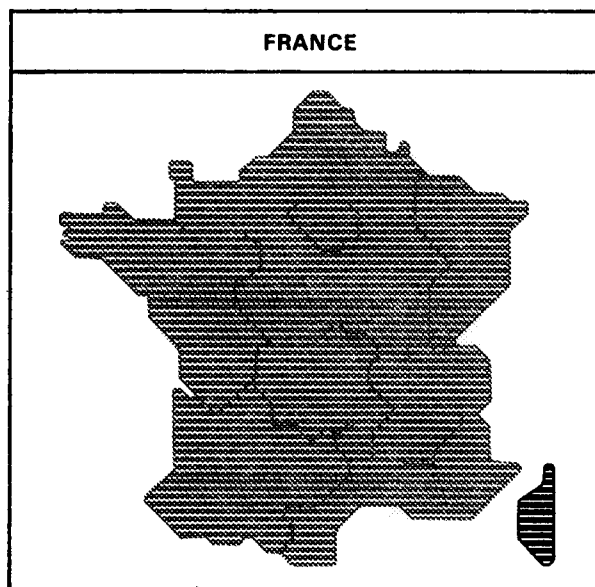
---

**BILAN EN ÉNERGIE FINALE  
AU NIVEAU NATIONAL ET RÉGIONAL**

---

- **1975**
- **1985 II**
- **2000 I, 2000 II, 2000 III**

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975                           |                               | A     | B    | C     | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep  | Mtep | TWh   | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 38,4  |      | 83,1  | 6,7 | 45,0  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 39,4  |      | 67,6  |     | 45,0  |
|                                      | Agriculture                   | 2,4   |      | 1,4   |     | 2,0   |
|                                      | Transports                    | 30,2  |      | 7,2   |     | 31,0  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 110,4 |      | 159,3 | 6,7 | 123,0 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |       |      | 12,5  |     | 1,0   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 110,0 |      | 172,0 | 7,0 | 124,0 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 15,0  |      |       |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  | 8,4   |      |       |     |       |
|                                      | Solaire                       |       |      |       |     |       |
|                                      | Biomasse                      |       |      |       |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |       |      |       |     |       |
|                                      | Géothermie                    |       |      |       |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |       |      |       |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |       |      |       |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |       |      | 59,7  |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |       |      |       |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |       |      |       | 6,7 |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 23,0  |      | 66,0  |     |       |
| Combustibles                         |                               | 87,0  |      |       |     |       |
| Électricité                          |                               |       |      | 106,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 1985 - SCÉNARIO II             |                               | A     | B    | C     | D    | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|------|-------|
|                                      |                               | Mtep  | Mtep | TWh   | TWh  | Mtep  |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 46,7  | 0,6  | 125,5 | 10,3 | 57,0  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 37,9  | 2,6  | 140,9 | 2,7  | 52,0  |
|                                      | Agriculture                   | 3,0   |      | 1,9   |      | 3,0   |
|                                      | Transports                    | 37,1  |      | 9,5   |      | 38,0  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 124,7 | 3,2  | 277,8 | 13,0 | 150,0 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |       |      | 21,8  |      | 2,0   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 125,0 | 3,0  | 300,0 | 13,0 | 152,0 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 8,2   |      |       |      |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  | 6,2   |      |       |      |       |
|                                      | Solaire                       |       | 0,3  |       |      |       |
|                                      | Biomasse                      |       | 0,7  |       |      |       |
|                                      | Déchets urbains               |       | 1,0  |       |      |       |
|                                      | Géothermie                    |       | 0,4  |       |      |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |       | 0,5  |       |      |       |
|                                      | P.A.C.                        |       | 0,3  |       |      |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |       |      | 66,0  |      |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |       |      | 2,7   |      |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |       |      | 10,3  |      |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 14,0  | 3,0  | 79,0  |      |       |
| Combustibles                         |                               | 111,0 |      |       |      |       |
| Électricité                          |                               |       |      | 221,0 |      | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO I              |                               | A     | B    | C     | D    | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|------|-------|
|                                      |                               | Mtep  | Mtep | TWh   | TWh  | Mtep  |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 76,5  | 0,4  | 218,6 | 10,3 | 95,0  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 48,8  | 3,6  | 232,5 | 6,2  | 72,0  |
|                                      | Agriculture                   | 5,8   |      | 3,8   |      | 6,0   |
|                                      | Transports                    | 64,3  |      | 12,2  |      | 66,0  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 195,4 | 4,0  | 467,3 | 16,5 | 238,0 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |       |      | 36,7  |      | 3,0   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 195,0 | 4,0  | 504,0 | 17,0 | 241,0 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 5,4   |      |       |      |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  | 1,5   |      |       |      |       |
|                                      | Solaire                       |       | 0,8  |       |      |       |
|                                      | Biomasse                      |       | 1,6  |       |      |       |
|                                      | Déchets urbains               |       | 0,4  |       |      |       |
|                                      | Géothermie                    |       | 0,3  |       |      |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |       | 0,5  |       |      |       |
|                                      | P.A.C.                        |       | 0,4  |       |      |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |       |      | 66,0  |      |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |       |      | 6,2   |      |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |       |      | 10,3  |      |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 7,0   | 4,0  | 83,0  |      |       |
| Combustibles                         |                               | 188,0 |      |       |      |       |
| Électricité                          |                               |       |      | 421,0 |      | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO II             |                               | A     | B    | C     | D    | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|------|-------|
|                                      |                               | Mtep  | Mtep | TWh   | TWh  | Mtep  |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 79,2  | 1,4  | 274,6 | 14,4 | 103,0 |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 34,6  | 8,3  | 232,9 | 7,6  | 62,0  |
|                                      | Agriculture                   | 4,9   |      | 3,1   |      | 5,0   |
|                                      | Transports                    | 51,3  |      | 15,4  |      | 53,0  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 170,0 | 9,7  | 526,0 | 22,0 | 223,0 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |       |      | 41,3  |      | 4,0   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 170,0 | 10,0 | 567,0 | 22,0 | 227,0 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 6,3   |      |       |      |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  | 1,5   |      |       |      |       |
|                                      | Solaire                       |       | 2,5  |       |      |       |
|                                      | Biomasse                      |       | 3,2  |       |      |       |
|                                      | Déchets urbains               |       | 0,8  |       |      |       |
|                                      | Géothermie                    |       | 0,5  |       |      |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |       | 0,8  |       |      |       |
|                                      | P.A.C.                        |       | 1,9  |       |      |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |       |      | 70,0  |      |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |       |      | 7,6   |      |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |       |      | 14,4  |      |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 8,0   | 10,0 | 92,0  |      |       |
| Combustibles                         |                               | 162,0 |      |       |      |       |
| Électricité                          |                               |       |      | 475,0 |      | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO III            |                               | A     | B    | C     | D    | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|------|-------|
|                                      |                               | Mtep  | Mtep | TWh   | TWh  | Mtep  |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 62,5  | 3,7  | 186,2 | 39,2 | 79,0  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 31,7  | 15,1 | 152,6 | 20,2 | 58,0  |
|                                      | Agriculture                   | 3,1   | 2,0  | 2,0   |      | 3,0   |
|                                      | Transports                    | 33,9  |      | 16,5  |      | 36,0  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 131,2 | 18,8 | 357,3 | 59,4 | 176,0 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |       |      | 28,1  |      | 2,0   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 131,0 | 19,0 | 385,0 | 59,0 | 178,0 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 7,6   |      |       |      |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  | 1,5   |      |       |      |       |
|                                      | Solaire                       |       | 5,5  |       |      |       |
|                                      | Biomasse                      |       | 6,5  |       |      |       |
|                                      | Déchets urbains               |       | 1,6  |       |      |       |
|                                      | Géothermie                    |       | 0,5  |       |      |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |       | 2,0  |       |      |       |
|                                      | P.A.C.                        |       | 2,7  |       |      |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |       |      | 76,5  |      |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |       |      | 20,2  |      |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |       |      | 39,2  |      |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 0,9   | 19,0 | 136,0 |      |       |
| Combustibles                         |                               | 122,0 |      |       |      |       |
| Électricité                          |                               |       |      | 249,0 |      | (1-2) |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.

A : Combustibles et carburants

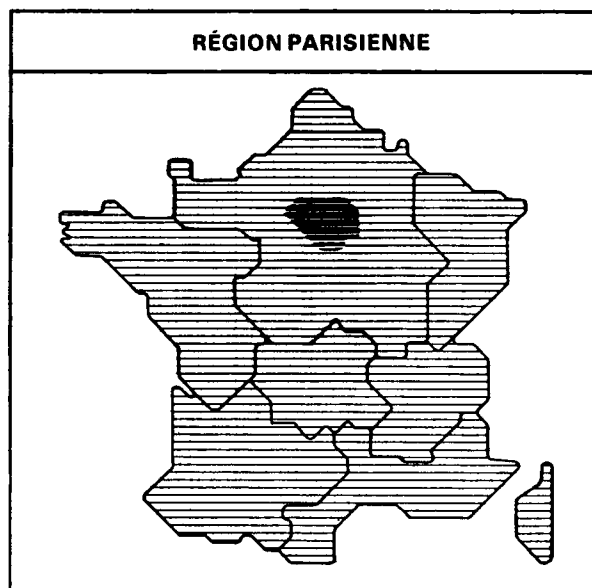
B : Énergies nouvelles

C : Électricité

D : Auto-consommation - Électricité

E : Total consommation

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975     |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|----------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION   | Industrie et BTP                     | 3,1  |      | 6,5  | 0,4 | 3,6   |
|                | Résidentiel tertiaire                | 9,1  |      | 16,4 |     | 10,5  |
|                | Agriculture                          | 0,1  |      | 0,1  |     | 0,1   |
|                | Transports                           | 5,1  |      | 2,5  |     | 5,2   |
|                | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 17,4 |      | 25,5 | 0,4 | 19,4  |
|                | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 2,0  |     | 0,2   |
|                | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 17,4 |      | 27,0 |     | 19,6  |
| DISPONIBILITÉS | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |     |       |
|                | Solaire                              |      |      |      |     |       |
|                | Biomasse                             |      |      |      |     |       |
|                | Déchets urbains                      |      |      |      |     |       |
|                | Géothermie                           |      |      |      |     |       |
|                | Rejets thermiques industriels        |      |      |      |     |       |
|                | P.A.C.                               |      |      |      |     |       |
|                | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |     |       |
|                | Prod. Comb. Urb.                     |      |      |      |     |       |
|                | Cogén. industrielle                  |      |      | 0,4  |     |       |
|                | 2) TOTAL APPOINT LOCAL ET RÉGIONAL   |      |      |      |     |       |
|                | Combustibles                         | 17,4 |      |      |     |       |
|                | Électricité                          |      |      | 27,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 1985 - SCÉNARIO II |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                          |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION             | Industrie et BTP                     | 3,6  | 0,1  | 9,2  | 0,5 | 4,4   |
|                          | Résidentiel tertiaire                | 8,1  | 0,8  | 32,8 | 1,1 | 11,6  |
|                          | Agriculture                          | 0,1  |      | 0,3  |     | 0,1   |
|                          | Transports                           | 7,1  |      | 3,3  |     | 7,3   |
|                          | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 18,9 | 0,9  | 45,6 | 1,6 | 23,4  |
|                          | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 3,6  |     | 0,3   |
|                          | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 18,9 | 0,9  | 49,0 | 2,0 | 23,7  |
| DISPONIBILITÉS           | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                          | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |     |       |
|                          | Solaire                              |      |      |      |     |       |
|                          | Biomasse                             |      |      |      |     |       |
|                          | Déchets urbains                      |      | 0,5  |      |     |       |
|                          | Géothermie                           |      | 0,2  |      |     |       |
|                          | Rejets thermiques industriels        |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | P.A.C.                               |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |     |       |
|                          | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 1,1  |     |       |
|                          | Cogén. industrielle                  |      |      | 0,5  |     |       |
|                          | 2) TOTAL APPOINT LOCAL ET RÉGIONAL   |      | 0,9  | 2,0  |     |       |
|                          | Combustibles                         | 18,9 |      |      |     |       |
|                          | Électricité                          |      |      | 47,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO I |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|-------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                         |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION            | Industrie et BTP                     | 6,1  | 0,1  | 17,1 | 0,5 | 7,6   |
|                         | Résidentiel tertiaire                | 11,0 | 0,5  | 58,0 | 1,1 | 16,4  |
|                         | Agriculture                          | 0,1  |      | 0,3  |     | 0,1   |
|                         | Transports                           | 12,9 |      | 4,2  |     | 13,2  |
|                         | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 30,1 | 0,6  | 79,6 | 1,6 | 37,3  |
|                         | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 6,3  |     | 0,5   |
|                         | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 30,1 | 0,6  | 86,0 | 2,0 | 37,8  |
| DISPONIBILITÉS          | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                         | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |     |       |
|                         | Solaire                              |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | Biomasse                             |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | Déchets urbains                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | Géothermie                           |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | Rejets thermiques                    |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | P.A.C.                               |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |     |       |
|                         | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 1,1  |     |       |
|                         | Cogén. industrielle                  |      |      | 0,5  |     |       |
|                         | 2) TOTAL APPOINT LOCAL ET RÉGIONAL   |      | 0,6  | 2,0  |     |       |
|                         | Combustibles                         | 30,1 |      |      |     |       |
|                         | Électricité                          |      |      | 84,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO II |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                          |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION             | Industrie et BTP                     | 5,5  | 0,1  | 18,3 | 0,8 | 7,1   |
|                          | Résidentiel tertiaire                | 8,0  | 1,2  | 51,3 | 3,1 | 13,4  |
|                          | Agriculture                          | 0,1  |      | 0,2  |     | 0,1   |
|                          | Transports                           | 9,9  |      | 5,3  |     | 10,3  |
|                          | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 23,5 | 1,3  | 75,1 | 3,9 | 30,9  |
|                          | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 5,9  |     | 0,5   |
|                          | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 23,5 | 1,3  | 81,0 | 4,0 | 31,4  |
| DISPONIBILITÉS           | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                          | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |     |       |
|                          | Solaire                              |      | 0,3  |      |     |       |
|                          | Biomasse                             |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | Déchets urbains                      |      | 0,2  |      |     |       |
|                          | Géothermie                           |      | 0,2  |      |     |       |
|                          | Rejets thermiques industriels        |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | P.A.C.                               |      | 0,4  |      |     |       |
|                          | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |     |       |
|                          | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 3,1  |     |       |
|                          | Cogén. industrielle                  |      |      | 0,8  |     |       |
|                          | 2) TOTAL APPOINT LOCAL ET RÉGIONAL   | -    | 1,3  | 4,0  |     |       |
|                          | Combustibles                         | 23,5 |      |      |     |       |
|                          | Électricité                          |      |      | 77,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO III |                                      | A    | B    | C    | D    | E     |
|---------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|-------|
|                           |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh  | Mtep  |
| CONSUMMATION              | Industrie et BTP                     | 3,8  | 0,2  | 10,8 | 1,5  | 4,8   |
|                           | Résidentiel tertiaire                | 8,6  | 2,0  | 31,2 | 12,2 | 12,2  |
|                           | Agriculture                          | 0,1  |      | 0,1  |      | 0,1   |
|                           | Transports                           | 6,3  |      | 5,7  |      | 6,8   |
|                           | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 18,8 | 2,2  | 47,8 | 13,7 | 23,9  |
|                           | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 3,8  |      |       |
|                           | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 18,8 | 2,2  | 52,0 | 14,0 | 24,2  |
| DISPONIBILITÉS            | Charbon                              |      |      |      |      |       |
|                           | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |      |       |
|                           | Solaire                              |      | 0,6  |      |      |       |
|                           | Biomasse                             |      | 0,2  |      |      |       |
|                           | Déchets urbains                      |      | 0,5  |      |      |       |
|                           | Géothermie                           |      | 0,3  |      |      |       |
|                           | Rejets thermiques industriels        |      | 0,1  |      |      |       |
|                           | P.A.C.                               |      | 0,5  |      |      |       |
|                           | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |      |       |
|                           | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 12,2 |      |       |
|                           | Cogén. industrielle                  |      |      | 1,5  |      |       |
|                           | 2) TOTAL APPOINT LOCAL ET RÉGIONAL   |      | 2,2  | 14,0 |      |       |
|                           | Combustibles                         | 18,8 |      |      |      |       |
|                           | Électricité                          |      |      | 38,0 |      | (1-2) |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.

A : Combustibles et carburants

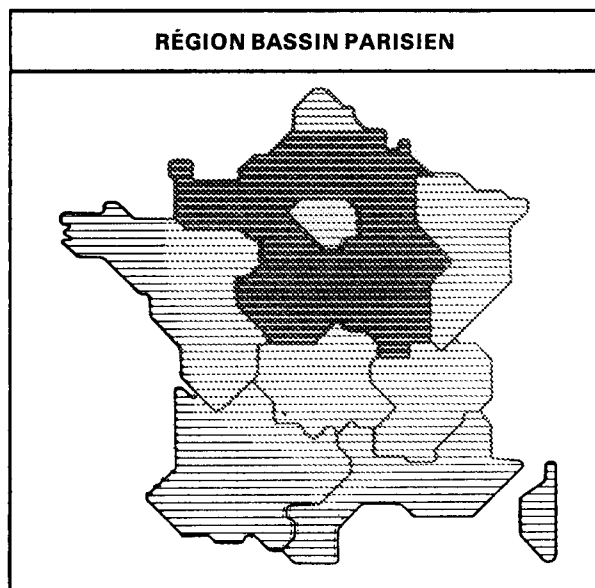
B : Énergies nouvelles

C : Électricité

D : Auto-consommation - Électricité

E : Total consommation

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975     |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|----------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION   | Industrie et BTP                     | 6,8  |      | 13,3 | 1,3 | 7,8   |
|                | Résidentiel tertiaire                | 7,6  |      | 11,5 |     | 8,5   |
|                | Agriculture                          | 0,7  |      | 0,5  |     | 0,7   |
|                | Transports                           | 6,6  |      | 1,4  |     | 6,6   |
|                | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 21,7 |      | 26,7 | 1,3 | 23,6  |
| DISPONIBILITÉS | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 2,1  |     | 0,2   |
|                | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 21,7 |      | 29,0 | 1,0 | 23,8  |
|                | Charbon                              | 1,0  |      |      |     |       |
|                | Gaz naturel et hydrocarbures         | 0,2  |      |      |     |       |
|                | Solaire                              |      |      |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS | Biomasse                             |      |      |      |     |       |
|                | Déchets urbains                      |      |      |      |     |       |
|                | Géothermie                           |      |      |      |     |       |
|                | Rejets thermiques industriels        |      |      |      |     |       |
|                | P.A.C.                               |      |      |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS | Hydraulique et éolienne              |      |      | 0,4  |     |       |
|                | Prod. Comb. Urb.                     |      |      |      |     |       |
|                | Cogén. industrielle                  |      |      |      | 1,3 |       |
|                | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 1,2  |      | 2,0  |     |       |
|                | Combustibles                         | 20,5 |      |      |     |       |
|                | Électricité                          |      |      | 27,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 1985 - SCÉNARIO II |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                          |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION             | Industrie et BTP                     | 8,6  | 0,2  | 21,4 | 1,8 | 10,4  |
|                          | Résidentiel tertiaire                | 7,0  | 0,7  | 24,5 | 3,0 | 9,6   |
|                          | Agriculture                          | 0,9  |      | 0,7  |     | 1,0   |
|                          | Transports                           | 7,4  |      | 1,9  |     | 7,5   |
|                          | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 23,9 | 0,9  | 48,5 | 4,8 | 28,5  |
| DISPONIBILITÉS           | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 3,8  |     | 0,3   |
|                          | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 23,9 | 0,9  | 52,0 | 5,0 | 28,8  |
|                          | Charbon                              | 0,4  |      |      |     |       |
|                          | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |     |       |
|                          | Solaire                              |      |      |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS           | Biomasse                             |      | 0,3  |      |     |       |
|                          | Déchets urbains                      |      | 0,2  |      |     |       |
|                          | Géothermie                           |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | Rejets thermiques industriels        |      | 0,2  |      |     |       |
|                          | P.A.C.                               |      | 0,1  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS           | Hydraulique et éolienne              |      |      | 0,2  |     |       |
|                          | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 0,6  |     |       |
|                          | Cogén. industrielle                  |      |      | 1,8  |     |       |
|                          | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 0,4  | 0,9  | 2,6  |     |       |
|                          | Combustibles                         | 23,5 |      |      |     |       |
|                          | Électricité                          |      |      | 49,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO I |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|-------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                         |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION            | Industrie et BTP                     | 16,0 | 0,2  | 42,7 | 1,8 | 19,7  |
|                         | Résidentiel tertiaire                | 9,5  | 1,0  | 40,4 | 1,4 | 13,9  |
|                         | Agriculture                          | 1,9  |      | 1,5  |     | 2,0   |
|                         | Transports                           | 13,2 |      | 2,5  |     | 13,4  |
|                         | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 40,6 | 1,2  | 87,1 | 3,1 | 49,0  |
| DISPONIBILITÉS          | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 6,8  |     | 0,6   |
|                         | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 40,6 | 1,2  | 94,0 | 3,0 | 49,6  |
|                         | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                         | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |     |       |
|                         | Solaire                              |      | 0,2  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS          | Biomasse                             |      | 0,7  |      |     |       |
|                         | Déchets urbains                      |      |      |      |     |       |
|                         | Géothermie                           |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | Rejets thermiques                    |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | P.A.C.                               |      | 0,1  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS          | Hydraulique et éolienne              |      |      | 0,2  |     |       |
|                         | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 1,3  |     |       |
|                         | Cogén. industrielle                  |      |      | 1,8  |     |       |
|                         | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |      | 1,2  | 3,0  |     |       |
|                         | Combustibles                         | 40,6 |      |      |     |       |
|                         | Électricité                          |      |      | 91,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO II |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                          |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION             | Industrie et BTP                     | 15,6 | 0,4  | 50,8 | 2,4 | 20,1  |
|                          | Résidentiel tertiaire                | 6,5  | 2,2  | 40,3 | 1,6 | 12,0  |
|                          | Agriculture                          | 1,6  |      | 1,2  |     | 1,7   |
|                          | Transports                           | 10,3 |      | 3,1  |     | 10,6  |
|                          | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 34,0 | 2,6  | 95,4 | 4,0 | 44,4  |
| DISPONIBILITÉS           | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 7,5  |     | 0,6   |
|                          | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 34,0 | 2,6  | 103  | 4,0 | 45,0  |
|                          | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                          | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |     |       |
|                          | Solaire                              |      | 0,5  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS           | Biomasse                             |      | 1,3  |      |     |       |
|                          | Déchets urbains                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | Géothermie                           |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | Rejets thermiques industriels        |      | 0,2  |      |     |       |
|                          | P.A.C.                               |      | 0,4  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS           | Hydraulique et éolienne              |      |      | 0,2  |     |       |
|                          | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 1,6  |     |       |
|                          | Cogén. industrielle                  |      |      | 2,4  |     |       |
|                          | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | -    | 2,6  | 4,0  |     |       |
|                          | Combustibles                         | 34,0 |      |      |     |       |
|                          | Électricité                          |      |      | 99,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO III |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|---------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                           |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION              | Industrie et BTP                     | 11,0 | 0,9  | 31,0 | 6,6 | 14,0  |
|                           | Résidentiel tertiaire                | 4,3  | 4,1  | 29,6 | 1,3 | 10,7  |
|                           | Agriculture                          | 0,8  |      | 0,7  |     | 0,9   |
|                           | Transports                           | 6,6  |      | 3,3  |     | 6,9   |
|                           | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 22,6 | 5,0  | 64,6 | 7,8 | 32,5  |
| DISPONIBILITÉS            | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 5,1  |     | 0,4   |
|                           | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 22,6 | 5,0  | 70,0 | 8,0 | 32,9  |
|                           | Charbon                              | 0,4  |      |      |     |       |
|                           | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |     |       |
|                           | Solaire                              |      | 1,0  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS            | Biomasse                             |      | 2,6  |      |     |       |
|                           | Déchets urbains                      |      | 0,2  |      |     |       |
|                           | Géothermie                           |      | 0,1  |      |     |       |
|                           | Rejets thermiques industriels        |      | 0,6  |      |     |       |
|                           | P.A.C.                               |      | 0,5  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS            | Hydraulique et éolienne              |      |      | 0,2  |     |       |
|                           | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 1,3  |     |       |
|                           | Cogén. industrielle                  |      |      | 6,6  |     |       |
|                           | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 0,4  | 5,0  | 8,0  |     |       |
|                           | Combustibles                         | 22,2 |      |      |     |       |
|                           | Électricité                          |      |      | 62,0 |     | (1-2) |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.

A : Combustibles et carburants

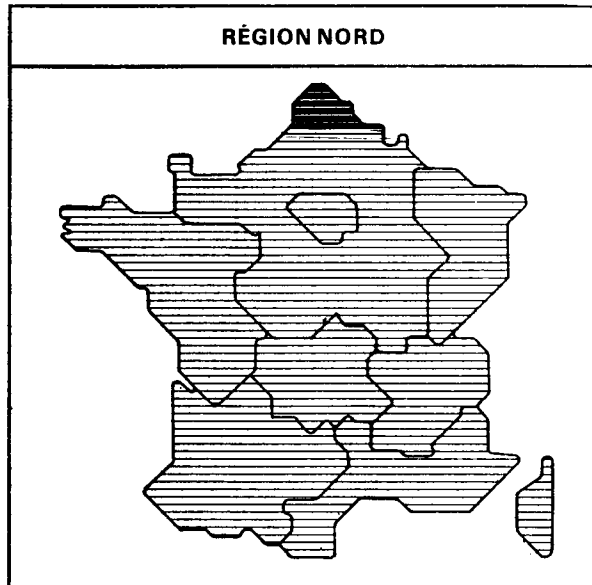
B : Énergies nouvelles

C : Électricité

D : Auto-consommation - Électricité

E : Total consommation

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975     |                                      | A    | B    | C    | D     | E    |
|----------------|--------------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSOMMATION   | Industrie et BTP                     | 6,3  |      | 9,3  | 0,6   | 7,1  |
|                | Résidentiel tertiaire                | 3,4  |      | 3,8  |       | 3,7  |
|                | Agriculture                          | 0,1  |      | 0,1  |       | 0,1  |
|                | Transports                           | 1,5  |      | 0,4  |       | 1,5  |
|                | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 11,3 |      | 13,6 | 0,6   | 12,4 |
|                | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 1,1  |       | 0,1  |
|                | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 11,3 |      | 15,0 | 1,0   | 12,5 |
| DISPONIBILITÉS | Charbon                              | 4,8  |      |      |       |      |
|                | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |       |      |
|                | Solaire                              |      |      |      |       |      |
|                | Biomasse                             |      |      |      |       |      |
|                | Déchets urbains                      |      |      |      |       |      |
|                | Géothermie                           |      |      |      |       |      |
|                | Rejets thermiques industriels        |      |      |      |       |      |
|                | P.A.C.                               |      |      |      |       |      |
|                | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |       |      |
|                | Prod. Comb. Urb.                     |      |      |      |       |      |
|                | Cogén. industrielle                  |      |      | 0,6  |       |      |
|                | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 4,8  |      | 1,0  |       |      |
|                | Combustibles                         | 6,5  |      |      |       |      |
|                | Électricité                          |      |      | 14,0 | (1-2) |      |

| ANNÉE 1985 – SCÉNARIO II |                                      | A    | B    | C    | D     | E    |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                          |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSOMMATION             | Industrie et BTP                     | 7,6  | 0,1  | 15,1 | 1,8   | 8,7  |
|                          | Résidentiel tertiaire                | 2,9  | 0,1  | 9,1  | 0,2   | 3,8  |
|                          | Agriculture                          | 0,1  |      | 0,1  |       | 0,1  |
|                          | Transports                           | 2,3  |      | 0,4  |       | 2,4  |
|                          | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 12,9 | 0,2  | 24,7 | 2,0   | 15,0 |
|                          | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 1,9  |       | 0,2  |
|                          | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 12,9 | 0,2  | 27,0 | 2,0   | 15,2 |
| DISPONIBILITÉS           | Charbon                              | 0,6  |      |      |       |      |
|                          | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |       |      |
|                          | Solaire                              |      |      |      |       |      |
|                          | Biomasse                             |      |      |      |       |      |
|                          | Déchets urbains                      |      | 0,1  |      |       |      |
|                          | Géothermie                           |      |      |      |       |      |
|                          | Rejets thermiques industriels        |      | 0,1  |      |       |      |
|                          | P.A.C.                               |      |      |      |       |      |
|                          | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |       |      |
|                          | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 0,2  |       |      |
|                          | Cogén. industrielle                  |      |      | 1,8  |       |      |
|                          | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 0,6  | 0,2  | 2,0  |       |      |
|                          | Combustibles                         | 12,3 |      |      |       |      |
|                          | Électricité                          |      |      | 25,0 | (1-2) |      |

| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO I |                                      | A    | B    | C    | D     | E    |
|-------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                         |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSOMMATION            | Industrie et BTP                     | 12,7 |      | 26,3 | 1,8   | 14,9 |
|                         | Résidentiel tertiaire                | 3,5  | 0,2  | 13,8 | 0,3   | 4,9  |
|                         | Agriculture                          | 0,2  |      | 0,1  |       | 0,2  |
|                         | Transports                           | 3,7  |      | 0,6  |       | 3,8  |
|                         | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 20,2 | 0,2  | 40,8 | 2,1   | 23,8 |
|                         | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 3,2  |       | 0,3  |
|                         | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 20,2 | 0,2  | 44,0 | 2,0   | 24,1 |
| DISPONIBILITÉS          | Charbon                              |      |      |      |       |      |
|                         | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |       |      |
|                         | Solaire                              |      |      |      |       |      |
|                         | Biomasse                             |      | 0,1  |      |       |      |
|                         | Déchets urbains                      |      |      |      |       |      |
|                         | Géothermie                           |      |      |      |       |      |
|                         | Rejets thermiques industriels        |      | 0,1  |      |       |      |
|                         | P.A.C.                               |      |      |      |       |      |
|                         | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |       |      |
|                         | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 0,3  |       |      |
|                         | Cogén. industrielle                  |      |      | 1,8  |       |      |
|                         | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |      | 0,2  | 2,0  |       |      |
|                         | Combustibles                         | 20,2 |      |      |       |      |
|                         | Électricité                          |      |      | 42,0 | (1-2) |      |

| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO II |                                      | A    | B    | C    | D     | E    |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                          |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSOMMATION             | Industrie et BTP                     | 12,8 | 0,2  | 34,6 | 2,6   | 15,8 |
|                          | Résidentiel tertiaire                | 1,9  | 0,6  | 20,9 | 0,4   | 4,3  |
|                          | Agriculture                          | 0,2  |      | 0,1  |       | 0,2  |
|                          | Transports                           | 3,1  |      | 0,1  |       | 3,2  |
|                          | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 18,0 | 0,8  | 55,7 | 3,0   | 23,5 |
|                          | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 4,4  |       | 0,4  |
|                          | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 18,0 | 0,8  | 60,0 | 3,0   | 23,9 |
| DISPONIBILITÉS           | Charbon                              |      |      |      |       |      |
|                          | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |       |      |
|                          | Solaire                              |      | 0,2  |      |       |      |
|                          | Biomasse                             |      | 0,1  |      |       |      |
|                          | Déchets urbains                      |      | 0,1  |      |       |      |
|                          | Géothermie                           |      |      |      |       |      |
|                          | Rejets thermiques industriels        |      | 0,1  |      |       |      |
|                          | P.A.C.                               |      | 0,3  |      |       |      |
|                          | Hydraulique et éolienne              |      |      |      |       |      |
|                          | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 0,4  |       |      |
|                          | Cogén. industrielle                  |      |      | 2,6  |       |      |
|                          | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | -    | 0,8  | 3,0  |       |      |
|                          | Combustibles                         | 18,0 |      |      |       |      |
|                          | Électricité                          |      |      | 57,0 | (1-2) |      |

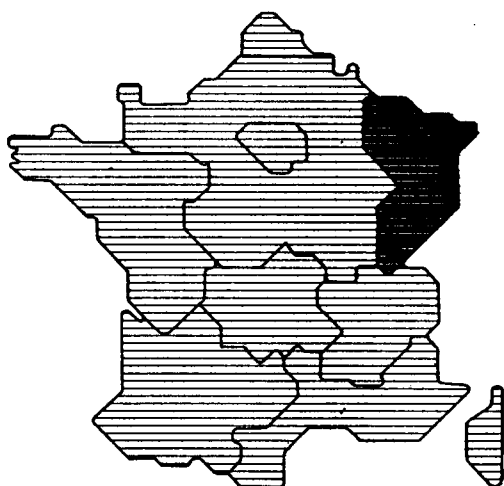
| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO III |                                      | A    | B    | C    | D     | E    |
|---------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                           |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSOMMATION              | Industrie et BTP                     | 8,6  | 0,4  | 18,5 | 5,1   | 10,2 |
|                           | Résidentiel tertiaire                | 2,7  | 0,9  | 9,6  | 1,7   | 4,2  |
|                           | Agriculture                          | 0,1  |      | 0,1  |       | 0,1  |
|                           | Transports                           | 2,1  |      | 0,8  |       | 2,2  |
|                           | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 13,5 | 1,3  | 29,0 | 6,8   | 16,7 |
|                           | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 2,3  |       | 0,2  |
|                           | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 13,5 | 1,3  | 31,0 | 7,0   | 17,9 |
| DISPONIBILITÉS            | Charbon                              |      |      |      |       |      |
|                           | Gaz naturel et hydrocarbures         |      |      |      |       |      |
|                           | Solaire                              |      | 0,5  |      |       |      |
|                           | Biomasse                             |      | 0,3  |      |       |      |
|                           | Déchets urbains                      |      | 0,1  |      |       |      |
|                           | Géothermie                           |      |      |      |       |      |
|                           | Rejets thermiques industriels        |      | 0,2  |      |       |      |
|                           | P.A.C.                               |      | 0,2  |      |       |      |
|                           | Hydraulique et éolienne              |      |      | 0,1  |       |      |
|                           | Prod. Comb. Urb.                     |      |      | 1,7  |       |      |
|                           | Cogén. industrielle                  |      |      | 5,1  |       |      |
|                           | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |      | 1,3  | 7,0  |       |      |
|                           | Combustibles                         | 13,5 |      |      |       |      |
|                           | Électricité                          |      |      | 24,0 | (1-2) |      |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.  
A : Combustibles et carburants  
B : Énergies nouvelles

C : Électricité  
D : Auto-consommation – Électricité  
E : Total consommation

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE

## RÉGION EST



| ANNÉE 1975                           |                               | A    | B    | C    | D     | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 9,8  |      | 13,7 | 1,9   | 10,8 |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,8  |      | 6,0  |       | 4,3  |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      | 0,1  |       | 0,2  |
|                                      | Transports                    | 2,0  |      | 0,7  |       | 2,1  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 15,8 |      | 20,5 | 1,9   | 17,4 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 1,6  |       | 0,1  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 15,8 |      | 22,0 | 2,0   | 17,5 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 6,3  |      |      |       |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  | 0,2  |      |      |       |      |
|                                      | Solaire                       |      |      |      |       |      |
|                                      | Biomasse                      |      |      |      |       |      |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |       |      |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |       |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |       |      |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |       |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 8,9  |       |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |      |       |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 1,9  |       |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 6,3  |      | 11,0 |       |      |
| Combustibles                         |                               | 9,5  |      |      |       |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 11,0 | (1-2) |      |

| ANNÉE 1985 - SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D     | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 11,8 | 0,1  | 22,6 | 2,8   | 13,6 |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,7  | 0,3  | 12,9 | 0,1   | 5,0  |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      | 0,1  |       | 0,2  |
|                                      | Transports                    | 2,8  |      | 0,9  |       | 2,9  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 18,5 | 0,4  | 36,4 | 2,9   | 21,7 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 2,9  |       | 0,2  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 18,5 | 0,4  | 39,0 | 3,0   | 21,9 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 5,9  |      |      |       |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |       |      |
|                                      | Solaire                       |      |      |      |       |      |
|                                      | Biomasse                      |      |      |      |       |      |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Géothermie                    |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 8,8  |       |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,1  |       |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 2,8  |       |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 5,9  | 0,4  | 12,0 |       |      |
| Combustibles                         |                               | 12,6 |      |      |       |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 27,0 | (1-2) |      |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO I              |                               | A    | B    | C    | D     | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 17,7 | 0,1  | 36,4 | 2,8   | 20,7 |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 4,7  | 0,3  | 19,8 | 0,6   | 6,7  |
|                                      | Agriculture                   | 0,4  |      | 0,2  |       | 0,4  |
|                                      | Transports                    | 4,6  |      | 1,2  |       | 4,7  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 27,4 | 0,4  | 57,6 | 3,4   | 32,5 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 4,5  |       | 0,4  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 27,4 | 0,4  | 62,0 | 3,0   | 32,9 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 4,4  |      |      |       |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |       |      |
|                                      | Solaire                       |      |      |      |       |      |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |       |      |
|                                      | Géothermie                    |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 8,8  |       |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,6  |       |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 2,8  |       |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 4,4  | 0,4  | 12,0 |       |      |
| Combustibles                         |                               | 23,0 |      |      |       |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 50,0 | (1-2) |      |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D     | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 19,1 | 0,3  | 50,5 | 3,8   | 23,4 |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,6  | 0,7  | 20,6 | 0,7   | 6,0  |
|                                      | Agriculture                   | 0,3  |      | 0,2  |       | 0,3  |
|                                      | Transports                    | 4,0  |      | 1,5  |       | 4,1  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 27,0 | 1,0  | 72,8 | 4,5   | 33,8 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 5,7  |       | 0,5  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 27,0 | 1,0  | 78,0 | 4,0   | 34,3 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 5,0  |      |      |       |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |       |      |
|                                      | Solaire                       |      | 0,2  |      |       |      |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,2  |      |       |      |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Géothermie                    |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,2  |      |       |      |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,2  |      |       |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 9,4  |       |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,6  |       |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 3,8  |       |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 5,0  | 1,0  | 14,0 |       |      |
| Combustibles                         |                               | 22,0 |      |      |       |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 64,0 | (1-2) |      |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO III            |                               | A    | B    | C    | D     | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh   | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 14,2 | 0,7  | 30,5 | 6,2   | 17,0 |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,0  | 1,3  | 13,8 | 1,0   | 5,4  |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      | 0,1  |       | 0,2  |
|                                      | Transports                    | 2,6  |      | 1,6  |       | 2,7  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 20,0 | 2,0  | 46,0 | 7,2   | 25,3 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 3,6  |       | 0,3  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 20,0 | 2,0  | 50,0 | 7,0   | 25,6 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 5,7  |      |      |       |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |       |      |
|                                      | Solaire                       |      | 0,7  |      |       |      |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,4  |      |       |      |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Géothermie                    |      | 0,1  |      |       |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,3  |      |       |      |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,4  |      |       |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 10,3 |       |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 1,0  |       |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 6,2  |       |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 5,7  | 2,0  | 18,0 |       |      |
| Combustibles                         |                               | 14,3 |      |      |       |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 32,0 | (1-2) |      |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées:

A : Combustibles et carburants

B : Énergies nouvelles

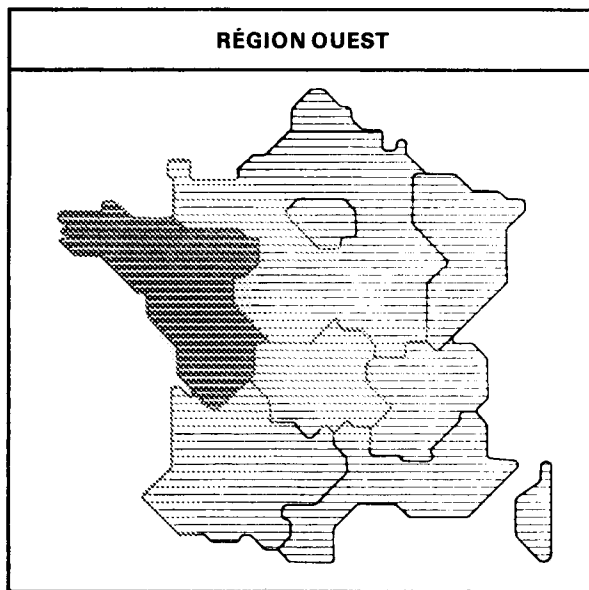
C : Électricité

D : Auto-consommation - Électricité

E : Total consommation



# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975                           |                               | A    | B    | C    | D                                            | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh                                          | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 2,2  |      | 4,8  | 0,1                                          | 2,6  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,9  |      | 7,8  |                                              | 4,6  |
|                                      | Agriculture                   | 0,5  |      | 0,2  |                                              | 0,5  |
|                                      | Transports                    | 4,0  |      | 0,3  |                                              | 4,0  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 10,6 |      | 13,1 | 0,1                                          | 11,7 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 1,0  |                                              | 0,1  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 10,6 |      | 14,0 |                                              | 11,8 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      | APPORT DES ÉNERGIES<br>LOCALES ET RÉGIONALES |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Solaire                       |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Biomasse                      |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |                                              |      |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 0,7  |                                              |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,1  |                                              |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      |      | 1,0  |                                              |      |
| Combustibles                         |                               | 10,6 |      |      |                                              |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 13,0 | (1-2)                                        |      |

| ANNÉE 1985 - SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D                                            | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh                                          | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 3,1  | 0,1  | 8,2  | 0,6                                          | 3,8  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 4,7  | 0,2  | 16,5 | 0,4                                          | 6,3  |
|                                      | Agriculture                   | 0,5  |      | 0,3  |                                              | 0,5  |
|                                      | Transports                    | 4,6  |      | 0,4  |                                              | 4,7  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 12,8 | 0,3  | 25,4 | 1,0                                          | 15,3 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 2,0  |                                              | 0,2  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 12,8 | 0,3  | 28,0 | 1,0                                          | 15,5 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      | APPORT DES ÉNERGIES<br>LOCALES ET RÉGIONALES |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Solaire                       |      | 0,1  |      |                                              |      |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,1  |      |                                              |      |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |                                              |      |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |                                              |      |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 0,7  |                                              |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,4  |                                              |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,6  |                                              |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      | 0,3  | 2,0  |                                              |      |
| Combustibles                         |                               | 12,8 |      |      |                                              |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 26,0 | (1-2)                                        |      |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO I              |                               | A    | B    | C    | D                                            | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh                                          | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 4,7  |      | 12,6 | 0,6                                          | 5,7  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 5,3  | 0,5  | 25,0 | 0,7                                          | 7,9  |
|                                      | Agriculture                   | 1,1  |      | 0,6  |                                              | 1,2  |
|                                      | Transports                    | 7,4  |      | 0,5  |                                              | 7,4  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 18,5 | 0,5  | 38,7 | 1,3                                          | 22,2 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 3,0  |                                              | 0,3  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 18,5 | 0,5  | 42,0 | 1,0                                          | 22,5 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      | APPORT DES ÉNERGIES<br>LOCALES ET RÉGIONALES |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Solaire                       |      | 0,1  |      |                                              |      |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,3  |      |                                              |      |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |                                              |      |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,1  |      |                                              |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 0,7  |                                              |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,7  |                                              |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,6  |                                              |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      | 0,5  | 2,0  |                                              |      |
| Combustibles                         |                               | 18,5 |      |      |                                              |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 40,0 | (1-2)                                        |      |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D                                            | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh                                          | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 5,6  | 0,1  | 19,1 | 0,9                                          | 7,2  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 4,0  | 1,2  | 27,6 | 0,9                                          | 7,5  |
|                                      | Agriculture                   | 0,9  |      | 0,5  |                                              | 1,0  |
|                                      | Transports                    | 6,4  |      | 0,7  |                                              | 6,5  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 16,9 | 1,3  | 47,9 | 1,8                                          | 22,2 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 3,8  |                                              | 0,3  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 16,9 | 1,3  | 52,0 | 2,0                                          | 22,5 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      | APPORT DES ÉNERGIES<br>LOCALES ET RÉGIONALES |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Solaire                       |      | 0,3  |      |                                              |      |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,6  |      |                                              |      |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |                                              |      |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,1  |      |                                              |      |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,2  |      |                                              |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 0,7  |                                              |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,9  |                                              |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,9  |                                              |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | -    | 1,3  | 3,0  |                                              |      |
| Combustibles                         |                               | 16,9 |      |      |                                              |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 49,0 | (1-2)                                        |      |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO III            |                               | A    | B    | C    | D                                            | E    |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------|------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh                                          | Mtep |
| CONSUMMATION                         | Industrie et BTP              | 5,3  | 0,3  | 16,0 | 3,1                                          | 6,7  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,7  | 2,3  | 19,3 | 1,6                                          | 7,5  |
|                                      | Agriculture                   | 0,6  |      | 0,3  |                                              | 0,7  |
|                                      | Transports                    | 4,4  |      | 0,7  |                                              | 4,5  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 14,0 | 2,7  | 36,3 | 4,7                                          | 19,4 |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 2,8  |                                              | 0,2  |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 14,0 | 2,7  | 39,0 | 5,0                                          | 19,6 |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      | APPORT DES ÉNERGIES<br>LOCALES ET RÉGIONALES |      |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Solaire                       |      | 0,7  |      |                                              |      |
|                                      | Biomasse                      |      | 1,2  |      |                                              |      |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,2  |      |                                              |      |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |                                              |      |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,2  |      |                                              |      |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,4  |      |                                              |      |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 1,0  |                                              |      |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 1,6  |                                              |      |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 3,1  |                                              |      |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      | 2,7  | 6,0  |                                              |      |
| Combustibles                         |                               | 14,0 |      |      |                                              |      |
| Électricité                          |                               |      |      | 33,0 | (1-2)                                        |      |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.

A : Combustibles et carburants

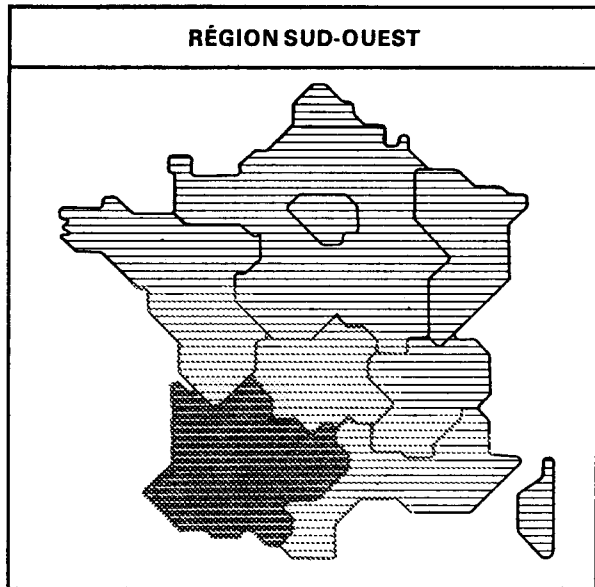
B : Énergies nouvelles

C : Électricité

D : Auto-consommation - Électricité

E : Total consommation

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975     |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|----------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION   | Industrie et BTP                     | 2,9  |      | 9,6  | 0,6 | 3,7   |
|                | Résidentiel tertiaire                | 3,1  |      | 5,6  |     | 3,6   |
|                | Agriculture                          | 0,4  |      | 0,2  |     | 0,4   |
|                | Transports                           | 2,5  |      | 0,4  |     | 2,5   |
|                | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 8,9  |      | 15,8 | 0,6 | 10,2  |
| DISPONIBILITÉS | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 1,2  |     | 0,1   |
|                | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 8,9  |      | 17,0 | 1,0 | 10,3  |
|                | Charbon                              | 0,9  |      |      |     |       |
|                | Gaz naturel et hydrocarbures         | 8,2  |      |      |     |       |
|                | Solaire                              |      |      |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS | Biomasse                             |      |      |      |     |       |
|                | Déchets urbains                      |      |      |      |     |       |
|                | Géothermie                           |      |      |      |     |       |
|                | Rejets thermiques industriels        |      |      |      |     |       |
|                | P.A.C.                               |      |      |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS | Hydraulique et éolienne              |      |      | 10,4 |     |       |
|                | Prod. Comb. Urb.                     |      |      |      |     |       |
|                | Cogén. industrielle                  |      |      |      | 0,6 |       |
|                | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 9,1  |      | 11,0 |     |       |
|                | Combustibles                         | -0,2 |      |      |     |       |
|                | Électricité                          |      |      | 6,0  |     | (1-2) |

| ANNÉE 1985 - SCÉNARIO II |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                          |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION             | Industrie et BTP                     | 3,6  |      | 13,9 | 0,9 | 4,8   |
|                          | Résidentiel tertiaire                | 3,2  | 0,2  | 11,8 |     | 4,3   |
|                          | Agriculture                          | 0,5  |      | 0,2  |     | 0,5   |
|                          | Transports                           | 2,8  |      | 0,6  |     | 2,9   |
|                          | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 10,1 | 0,2  | 26,5 | 0,9 | 12,5  |
| DISPONIBILITÉS           | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 2,1  |     | 0,2   |
|                          | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 10,1 | 0,2  | 29,0 | 1,0 | 12,7  |
|                          | Charbon                              | 0,2  |      |      |     |       |
|                          | Gaz naturel et hydrocarbures         | 6,2  |      |      |     |       |
|                          | Solaire                              |      | 0,1  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS           | Biomasse                             |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | Déchets urbains                      |      |      |      |     |       |
|                          | Géothermie                           |      |      |      |     |       |
|                          | Rejets thermiques industriels        |      |      |      |     |       |
|                          | P.A.C.                               |      |      |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS           | Hydraulique et éolienne              |      |      | 10,0 |     |       |
|                          | Prod. Comb. Urb.                     |      |      |      |     |       |
|                          | Cogén. industrielle                  |      |      |      | 0,9 |       |
|                          | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 6,4  | 0,2  | 11,0 |     |       |
|                          | Combustibles                         | 3,7  |      |      |     |       |
|                          | Électricité                          |      |      | 18,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO I |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|-------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                         |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION            | Industrie et BTP                     | 5,1  |      | 20,1 | 0,9 | 6,7   |
|                         | Résidentiel tertiaire                | 3,7  | 0,4  | 19,3 |     | 5,7   |
|                         | Agriculture                          | 0,8  |      | 0,4  |     | 0,9   |
|                         | Transports                           | 4,7  |      | 0,7  |     | 4,8   |
|                         | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 14,3 | 0,4  | 40,5 | 0,9 | 18,1  |
| DISPONIBILITÉS          | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 3,2  |     | 0,3   |
|                         | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 14,3 | 0,4  | 44,0 | 1,0 | 18,4  |
|                         | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                         | Gaz naturel et hydrocarbures         | 1,5  |      |      |     |       |
|                         | Solaire                              |      | 0,1  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS          | Biomasse                             |      | 0,2  |      |     |       |
|                         | Déchets urbains                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                         | Géothermie                           |      |      |      |     |       |
|                         | Rejets thermiques industriels        |      |      |      |     |       |
|                         | P.A.C.                               |      |      |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS          | Hydraulique et éolienne              |      |      | 10,0 |     |       |
|                         | Prod. Comb. Urb.                     |      |      |      |     |       |
|                         | Cogén. industrielle                  |      |      |      | 0,9 |       |
|                         | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 1,5  | 0,4  | 11,0 |     |       |
|                         | Combustibles                         | 12,8 |      |      |     |       |
|                         | Électricité                          |      |      | 33,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO II |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                          |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION             | Industrie et BTP                     | 6,4  | 0,1  | 29,8 | 1,3 | 8,9   |
|                          | Résidentiel tertiaire                | 2,7  | 0,8  | 19,5 |     | 5,3   |
|                          | Agriculture                          | 0,8  |      | 0,4  |     | 0,8   |
|                          | Transports                           | 4,0  |      | 0,9  |     | 4,1   |
|                          | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 13,9 | 0,9  | 50,6 | 1,3 | 19,1  |
| DISPONIBILITÉS           | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 4,0  |     | 0,3   |
|                          | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 13,9 | 0,9  | 55,0 | 1,0 | 19,4  |
|                          | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                          | Gaz naturel et hydrocarbures         | 1,5  |      |      |     |       |
|                          | Solaire                              |      | 0,3  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS           | Biomasse                             |      | 0,4  |      |     |       |
|                          | Déchets urbains                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                          | Géothermie                           |      |      |      |     |       |
|                          | Rejets thermiques industriels        |      |      |      |     |       |
|                          | P.A.C.                               |      | 0,1  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS           | Hydraulique et éolienne              |      |      | 10,6 |     |       |
|                          | Prod. Comb. Urb.                     |      |      |      |     |       |
|                          | Cogén. industrielle                  |      |      |      | 1,3 |       |
|                          | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 1,5  | 0,9  | 12,0 |     |       |
|                          | Combustibles                         | 12,4 |      |      |     |       |
|                          | Électricité                          |      |      | 43,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO III |                                      | A    | B    | C    | D   | E     |
|---------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                           |                                      | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSUMMATION              | Industrie et BTP                     | 7,0  | 0,3  | 27,5 | 5,5 | 9,1   |
|                           | Résidentiel tertiaire                | 2,5  | 1,6  | 13,3 |     | 5,3   |
|                           | Agriculture                          | 0,6  |      | 0,3  |     | 0,6   |
|                           | Transports                           | 2,8  |      | 1,0  |     | 2,9   |
|                           | TOTAL UTILISATIONS FINALES           | 12,9 | 1,9  | 42,1 | 5,5 | 17,9  |
| DISPONIBILITÉS            | Pertes de transport de l'électricité |      |      | 3,3  |     | 0,3   |
|                           | 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         | 12,9 | 1,9  | 45,0 | 5,0 | 18,2  |
|                           | Charbon                              |      |      |      |     |       |
|                           | Gaz naturel et hydrocarbures         | 1,5  |      |      |     |       |
|                           | Solaire                              |      | 0,6  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS            | Biomasse                             |      | 0,9  |      |     |       |
|                           | Déchets urbains                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                           | Géothermie                           |      |      |      |     |       |
|                           | Rejets thermiques industriels        |      | 0,1  |      |     |       |
|                           | P.A.C.                               |      | 0,2  |      |     |       |
| DISPONIBILITÉS            | Hydraulique et éolienne              |      |      | 11,5 |     |       |
|                           | Prod. Comb. Urb.                     |      |      |      |     |       |
|                           | Cogén. industrielle                  |      |      |      | 5,5 |       |
|                           | 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    | 1,5  | 1,9  | 17,0 |     |       |
|                           | Combustibles                         | 11,4 |      |      |     |       |
|                           | Électricité                          |      |      | 28,0 |     | (1-2) |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.

A : Combustibles et carburants

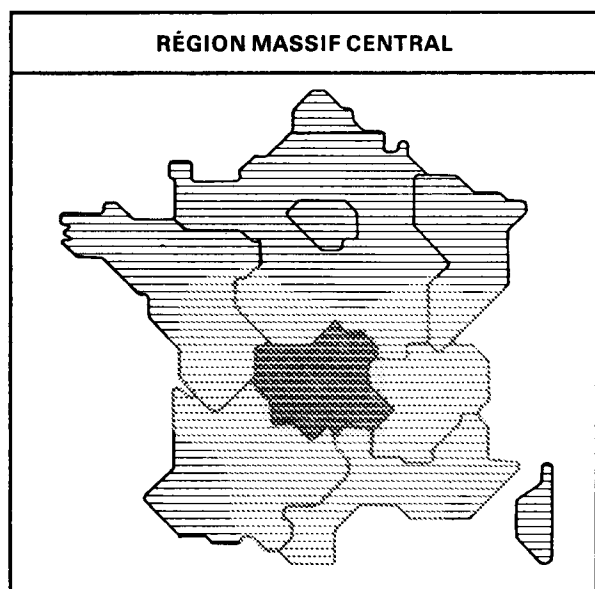
B : Énergies nouvelles

C : Électricité

D : Auto-consommation - Électricité

E : Total consommation

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975                           |                               | A    | B    | C   | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|-----|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 0,8  |      | 1,9 | 0,1 | 1,0   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 1,2  |      | 2,2 |     | 1,4   |
|                                      | Agriculture                   | 0,1  |      |     |     | 0,1   |
|                                      | Transports                    | 0,8  |      | 0,1 |     | 0,8   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 2,9  |      | 4,2 | 0,1 | 3,3   |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 0,3 |     |       |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 2,9  |      | 5,0 |     | 3,3   |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 0,3  |      |     |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |     |     |       |
|                                      | Solaire                       |      |      |     |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      |      |     |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |     |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |     |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |     |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |     |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 3,7 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |     |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,1 |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 0,3  |      | 4,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 2,6  |      |     |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      |     | 1,0 | (1-2) |

| ANNÉE 1985 – SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C   | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|-----|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 0,9  |      | 2,7 | 0,3 | 1,1   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 1,5  | 0,1  | 4,9 |     | 2,0   |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      |     |     | 0,2   |
|                                      | Transports                    | 1,1  |      | 0,2 |     | 1,1   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 3,7  | 0,1  | 7,8 | 0,3 | 4,4   |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 0,6 |     | 0,1   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 3,7  | 0,1  | 8,0 | 0,3 | 4,5   |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |     |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |     |     |       |
|                                      | Solaire                       |      |      |     |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,1  |     |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |     |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |     |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |     |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |     |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 4,0 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |     |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,2 |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      | 0,1  | 4,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 3,7  |      |     |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      |     | 4,0 | (1-2) |

| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO I              |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 1,2  |      | 4,0  | 0,2 | 1,5   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 1,6  | 0,1  | 7,0  | 0,1 | 2,4   |
|                                      | Agriculture                   | 0,4  |      | 0,1  |     | 0,4   |
|                                      | Transports                    | 1,7  |      | 0,2  |     | 1,7   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 4,9  | 0,1  | 11,3 | 0,3 | 6,0   |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 0,9  |     | 0,1   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 4,9  | 0,1  | 12,0 |     | 6,1   |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 4,0  |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,1  |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,2  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      | 0,1  | 4,0  |     |       |
| Combustibles                         |                               | 4,9  |      |      |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      |      | 8,0 | (1-2) |

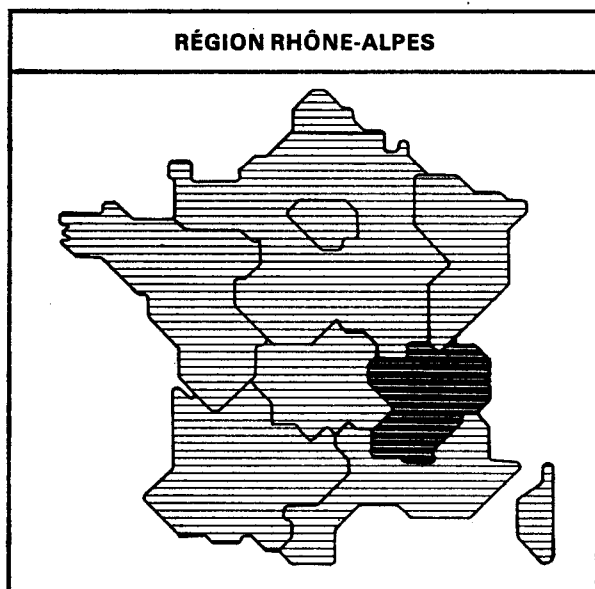
| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D    | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh  | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 1,4  |      | 5,3  | 0,2  | 1,9   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 1,3  | 0,3  | 7,7  | 0,1  | 2,3   |
|                                      | Agriculture                   | 0,3  |      |      |      | 0,3   |
|                                      | Transports                    | 1,5  |      | 0,3  |      | 1,5   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 4,5  | 0,3  | 13,3 | 0,3  | 6,0   |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 1,1  |      | 0,1   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 4,5  | 0,3  | 14,0 |      | 6,1   |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      |      |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |      |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,1  |      |      |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,2  |      |      |       |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |      |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |      |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,2  |      |      |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |      |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 4,2  |      |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,1  |      |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,2  |      |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | –    | 0,3  | 4,0  |      |       |
| Combustibles                         |                               | 4,5  |      |      |      |       |
| Électricité                          |                               |      |      |      | 10,0 | (1-2) |

| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO III            |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 1,4  |      | 4,9  | 0,9 | 1,8   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 1,0  | 0,7  | 6,4  | 0,2 | 2,2   |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      |      |     | 0,2   |
|                                      | Transports                    | 1,1  |      | 0,3  |     | 1,1   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 3,8  |      | 11,7 | 1,1 | 5,3   |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 0,9  |     | 0,1   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 3,8  | 0,7  | 13,0 | 1,0 | 5,4   |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,2  |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,3  |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 4,7  |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,2  |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,9  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      | 0,7  | 6,0  |     |       |
| Combustibles                         |                               | 3,8  |      |      |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      |      | 7,0 | (1-2) |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.  
A : Combustibles et carburants  
B : Énergies nouvelles

C : Électricité  
D : Auto-consommation – Électricité  
E : Total consommation

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975                           |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 3,4  |      | 15,9 | 1,4 | 4,6   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,8  |      | 6,7  |     | 4,4   |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      | 0,1  |     | 0,2   |
|                                      | Transports                    | 2,3  |      | 0,7  |     | 2,4   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 9,7  |      | 23,4 | 1,4 | 11,6  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 1,8  |     | 0,2   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 9,7  |      | 25,0 | 1,0 | 11,8  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 0,5  |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      |      |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 23,1 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |      |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 1,4  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 0,5  |      | 24,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 9,2  |      |      |     | (1-2) |
| Électricité                          |                               |      |      | 1,0  |     |       |

| ANNÉE 1985 - SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 4,2  |      | 21,1 | 1,0 | 5,9   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,7  | 0,2  | 13,4 | 0,3 | 5,0   |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      | 0,1  |     | 0,2   |
|                                      | Transports                    | 2,8  |      | 0,9  |     | 2,9   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 10,9 | 0,2  | 35,5 | 1,3 | 14,0  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 2,8  |     | 0,2   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 10,9 | 0,2  | 38,0 | 1,3 | 14,2  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      |      |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 27,2 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,3  |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 1,0  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      | 0,2  | 28,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 10,9 |      |      |     | (1-2) |
| Électricité                          |                               |      |      | 10,0 |     |       |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO I              |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 7,8  |      | 42,5 | 1,0 | 11,4  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 6,2  | 0,2  | 23,8 | 0,7 | 7,4   |
|                                      | Agriculture                   | 0,4  |      | 0,1  |     | 0,4   |
|                                      | Transports                    | 5,1  |      | 1,2  |     | 5,2   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 18,5 | 0,2  | 67,6 | 2,0 | 24,4  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 5,3  |     | 0,5   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 18,5 | 0,2  | 73,0 | 2,0 | 24,9  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 27,3 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,7  |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 1,0  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               |      | 0,2  | 29,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 18,5 |      |      |     | (1-2) |
| Électricité                          |                               |      |      | 44,0 |     |       |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 7,0  | 0,1  | 43,2 | 1,4 | 10,7  |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,6  | 0,5  | 21,4 | 0,8 | 5,9   |
|                                      | Agriculture                   | 0,3  |      | 0,1  |     | 0,3   |
|                                      | Transports                    | 4,0  |      | 1,4  |     | 4,1   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 14,9 | 0,6  | 66,1 | 2,2 | 21,0  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 5,2  |     | 0,4   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 14,9 | 0,6  | 71,0 | 2,2 | 21,4  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,2  |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,2  |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 28,9 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 0,8  |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 1,4  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | -    | 0,6  | 31,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 14,9 |      |      |     | (1-2) |
| Électricité                          |                               |      |      | 40,0 |     |       |

| ANNÉE 2000 - SCÉNARIO III            |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 4,9  | 0,3  | 24,8 | 5,5 | 6,8   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,1  | 1,1  | 15,1 | 0,2 | 5,5   |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      | 0,1  |     | 0,2   |
|                                      | Transports                    | 2,5  |      | 1,6  |     | 2,6   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 10,7 | 1,4  | 41,6 | 5,7 | 15,1  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 3,2  |     | 0,3   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 10,7 | 1,4  | 45,0 | 6,0 | 15,4  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,5  |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,3  |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,2  |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,3  |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 31,4 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      | 2,2  |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 5,5  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | -    | 1,4  | 39,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 10,7 |      |      |     | (1-2) |
| Électricité                          |                               |      |      | 6,0  |     |       |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.

A : Combustibles et carburants

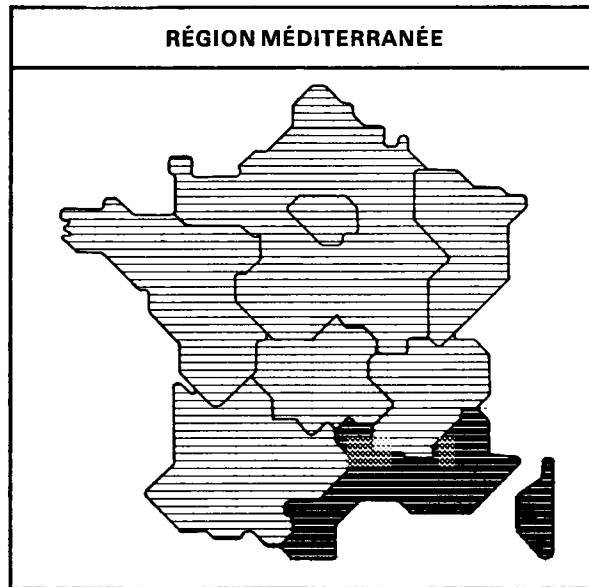
B : Énergies nouvelles

C : Électricité

D : Auto-consommation - Électricité

E : Total consommation

# BILAN EN ÉNERGIE FINALE



| ANNÉE 1975                           |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 3,0  |      | 8,0  | 0,4 | 3,7   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,5  |      | 7,6  |     | 4,1   |
|                                      | Agriculture                   | 0,2  |      | 0,2  |     | 0,2   |
|                                      | Transports                    | 5,6  |      | 0,7  |     | 5,7   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 12,3 |      | 16,5 | 0,4 | 13,7  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 1,3  |     | 0,1   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 12,3 |      | 18,0 |     | 13,8  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 1,2  |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  | 0,2  |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      |      |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      |      |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 12,6 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |      |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,4  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 1,2  |      | 13,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 11,1 |      |      |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      | 5,0  |     | (1-2) |

| ANNÉE 1985 – SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 3,5  | 0,1  | 11,3 | 0,6 | 4,5   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 3,4  | 0,1  | 15,1 |     | 4,8   |
|                                      | Agriculture                   | 0,3  |      | 0,2  |     | 0,3   |
|                                      | Transports                    | 6,2  |      | 0,9  | 0,6 | 6,3   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 13,4 | 0,2  | 27,5 |     | 15,9  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 2,2  |     | 0,2   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 13,4 | 0,2  | 30,0 | 1,0 | 16,1  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 1,0  |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      |      |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      |      |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 15,0 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |      |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,6  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 1,0  | 0,2  | 16,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 12,4 |      |      |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      | 14,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO I              |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 5,3  | 0,1  | 17,1 | 0,6 | 6,7   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 4,0  | 0,3  | 25,5 |     | 6,5   |
|                                      | Agriculture                   | 0,5  |      | 0,5  |     | 0,6   |
|                                      | Transports                    | 11,0 |      | 1,1  |     | 11,1  |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 20,8 | 0,4  | 44,2 | 0,6 | 24,9  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 3,5  |     | 0,3   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 20,8 | 0,4  | 48,0 | 1,0 | 25,2  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 1,0  |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,2  |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      |      |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      |      |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 15,0 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |      |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,6  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 1,0  | 0,4  | 16,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 19,8 |      |      |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      | 32,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO II             |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 5,8  | 0,1  | 23,1 | 0,9 | 7,8   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 2,9  | 0,7  | 24,1 |     | 5,6   |
|                                      | Agriculture                   | 0,4  |      | 0,4  |     | 0,5   |
|                                      | Transports                    | 8,1  |      | 1,4  |     | 8,2   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 17,2 | 0,8  | 49,0 | 0,9 | 22,1  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 3,8  |     |       |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 17,2 | 0,8  | 53,0 | 1,0 | 22,4  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 1,3  |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,4  |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 15,9 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |      |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 0,9  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 1,3  | 0,8  | 17,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 15,9 |      |      |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      | 36,0 |     | (1-2) |

| ANNÉE 2000 – SCÉNARIO III            |                               | A    | B    | C    | D   | E     |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|-------|
|                                      |                               | Mtep | Mtep | TWh  | TWh | Mtep  |
| CONSOMMATION                         | Industrie et BTP              | 6,4  | 0,6  | 22,2 | 4,8 | 8,5   |
|                                      | Résidentiel tertiaire         | 2,7  | 1,1  | 15,3 |     | 5,2   |
|                                      | Agriculture                   | 0,3  |      | 0,3  |     | 0,3   |
|                                      | Transports                    | 5,5  |      | 1,5  |     | 5,6   |
|                                      | TOTAL UTILISATIONS FINALES    | 14,9 | 1,7  | 39,3 | 4,8 | 19,6  |
| Pertes de transport de l'électricité |                               |      |      | 3,1  |     | 0,3   |
| 1) TOTAL CONSOMMATION FINALE         |                               | 14,9 | 1,7  | 42,0 | 5,0 | 19,9  |
| DISPONIBILITÉS                       | Charbon                       | 1,5  |      |      |     |       |
|                                      | Gaz naturel et hydrocarbures  |      |      |      |     |       |
|                                      | Solaire                       |      | 0,7  |      |     |       |
|                                      | Biomasse                      |      | 0,3  |      |     |       |
|                                      | Déchets urbains               |      | 0,2  |      |     |       |
|                                      | Géothermie                    |      |      |      |     |       |
|                                      | Rejets thermiques industriels |      | 0,4  |      |     |       |
|                                      | P.A.C.                        |      | 0,1  |      |     |       |
|                                      | Hydraulique et éolienne       |      |      | 17,4 |     |       |
|                                      | Prod. Comb. Urb.              |      |      |      |     |       |
|                                      | Cogén. industrielle           |      |      | 4,8  |     |       |
| 2) TOTAL APPORT LOCAL ET RÉGIONAL    |                               | 1,5  | 1,7  | 22,0 |     |       |
| Combustibles                         |                               | 13,4 |      |      |     |       |
| Électricité                          |                               |      |      | 20,0 |     | (1-2) |

(1-2) : Apport des énergies nationales ou importées.  
A : Combustibles et carburants  
B : Énergies nouvelles

C : Électricité  
D : Auto-consommation – Électricité  
E : Total consommation

---

**LES VALEURS AJOUTÉES RÉGIONALES  
ET LES PIB RÉGIONAUX  
A L'HORIZON 1985 ET 2000  
DANS LE CADRE DES TROIS SCÉNARIOS**

---

**(Variables d'entrée du modèle MEDEE  
de prévision de la demande d'énergie).**

Cette annexe présente la séquence des calculs qui a conduit à la détermination des valeurs ajoutées sectorielles régionales et des PIB régionaux à l'horizon 1985 et 2000. Ces diverses valeurs sont des variables d'entrée du modèle MEDEE de prévision de la demande d'énergie.

## I. LES VALEURS AJOUTEES DES BRANCHES A L'ECHELON NATIONAL EN 1975

Les valeurs ajoutées des branches en 1975 sont issues du Rapport sur les Comptes de la Nation 1976 (INSEE, C. 52-53, p. 161) et des Comptes de l'Industrie « La situation française en 1976 » (INSEE, C. 55, p. 81-103). Un calcul d'estimation a été nécessaire pour les deux branches — transformation des matières plastiques ainsi que fils et fibres artificiels et synthétiques — qui en sont pas classées ici dans les mêmes sous-secteurs industriels que dans les comptes INSEE. Leur valeur ajoutée en 1975 n'étant pas encore disponible, on l'a estimée à partir de celle de 1974 et à partir des effectifs employés en 1975 (cf. « Les Comptes Intermédiaires des Entreprises en 1974 », INSEE E 51).

Compte tenu de ces modifications dans la composition des sous-secteurs industriels (1), on aboutit aux résultats suivants :

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <i>Valeurs ajoutées en 1975 (10<sup>6</sup> F)</i> |           |
| Secteur Industriel                                 | 374 200   |
| dont Biens Intermédiaires                          | 122 000   |
| Biens d'équipement                                 | 118 200   |
| Biens de consommation                              | 71 600    |
| IAA                                                | 62 400    |
| Secteur agricole                                   | 73 100    |
| BTP                                                | 110 000   |
| Secteur énergétique                                | 56 500    |
| Services                                           | 696 200   |
|                                                    | <hr/>     |
| TOTAL                                              | 1 310 000 |

Dans les services sont inclus les services non marchands (173 000 - 10<sup>6</sup> F) et déduits les services bancaires imputés. Bien que cela ne corresponde pas exactement à la définition adoptée par la comptabilité nationale (on omet la TVA grevant les produits et les droits de douane assimilés), on appellera ce total de 1 310 milliards de F le produit intérieur brut (PIB) de 1975, et toutes les prévisions en 1975 et 2000 seront réalisées sur cette base.

## II. LES VALEURS AJOUTEES DES BRANCHES A L'ECHELON REGIONAL EN 1975

Les valeurs ajoutées des régions en 1975 n'ont pas encore fait l'objet d'une publication de la part de l'INSEE. Seules sont connues les VA de 1972, et encore, dans une décom-

(1) Pour les autres branches « déplacées » (cf. l'étude, chapitre 2 § 3.1), les valeurs ajoutées en 1975 sont en revanche connues.

position qui n'est pas directement exploitable ici parce que trop agrégée. Elles constituent cependant un point de départ intéressant pour la détermination des VA de 1975. L'autre point de départ est le recensement de la population, particulièrement riche en informations sur la structure des emplois par branche industrielle et par région. Ce sont les deux sources essentielles utilisées.

Connaissant la répartition des gros agrégats et du PIB de 1972 selon les régions, la structure de l'emploi selon les branches et selon les régions en 1975, et la somme des VA régionales pour chaque branche (c'est-à-dire les VA de la France entière en 1975), on a construit le tableau des VA régionales ventilées dans les huit secteurs et sous-secteurs. Cette construction a nécessité deux itérations pour que la somme des lignes soit égale à la somme des colonnes et a été étayée par une vérification de la cohérence et de la plausibilité des résultats (1).

**TABLEAU 1**  
**PIB ET VALEURS AJOUTÉES RÉGIONALES DES SECTEURS EN 1975 (10<sup>8</sup>F)**

|                   | INT          | EQI          | CONS       | IAA        | BTP          | AGR        | ENER       | SERV         | PIB           |
|-------------------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|---------------|
| Région Parisienne | 270          | 423          | 148        | 113        | 300          | 27         | 151        | 2 483        | 3 915         |
| Bassin Parisien   | 243          | 219          | 123        | 130        | 170          | 219        | 69         | 976          | 2 149         |
| Nord              | 137          | 69           | 87         | 57         | 70           | 34         | 59         | 399          | 912           |
| Est               | 176          | 119          | 79         | 59         | 93           | 52         | 57         | 528          | 1 163         |
| Ouest             | 62           | 96           | 64         | 80         | 124          | 159        | 46         | 642          | 1 279         |
| Sud-Ouest         | 63           | 52           | 58         | 50         | 81           | 92         | 55         | 489          | 940           |
| Massif Central    | 45           | 28           | 35         | 26         | 32           | 38         | 15         | 186          | 405           |
| Rhône-Alpes       | 159          | 129          | 90         | 52         | 114          | 43         | 59         | 577          | 1 223         |
| Méditerranée      | 65           | 47           | 32         | 51         | 116          | 67         | 54         | 682          | 1 114         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1 220</b> | <b>1 182</b> | <b>716</b> | <b>624</b> | <b>1 100</b> | <b>731</b> | <b>565</b> | <b>6 962</b> | <b>13 100</b> |

### III. LA STRUCTURE SECTORIELLE DU PIB EN 2000

Les taux de croissance du PIB national entre 1975 et 2000 sont les suivants :

- scénario I : 4,5 %
- scénario II : 4,5 %
- scénario III : 3 %

(1) On a opéré une vérification ex-post des résultats relatifs au secteur industriel à l'aide d'un document de l'INSEE récemment paru : « Les comptes régionaux des branches industrielles en 1975 ». Série R. 37, mai 1979. La comparaison entre nos estimations et les données contenues dans ce document ne porte pas sur la mesure en F. des valeurs ajoutées puisque les Comptes de Production Régionaux sont déterminés sur la base d'enquêtes et ne recouvrent pas exactement les mêmes unités de production que celles retenues par la comptabilité nationale. La comparaison consiste plutôt à calculer dans l'un et l'autre cas les pourcentages atteints par chaque région dans le total national en faisant l'hypothèse que les unités non comptabilisées sont réparties uniformément selon les régions. Pour les trois secteurs industriels — biens intermédiaires, biens d'équipement et biens de consommation —, on constate que les écarts maximum entre les deux ventilations de la valeur ajoutée nationale sont de l'ordre de 1 %. Nos estimations ont donc un degré de précision satisfaisant. Les variations par rapport à la réalité observées sont faibles. Pour les IAA, cette vérification n'a pu être entreprise. Il en est de même pour les autres secteurs économiques mais cela porte moins à conséquence puisque les prévisions de valeurs ajoutées n'interviennent pas dans la détermination des prévisions de leur consommation d'énergie.



La structure du PIB pour chacun des trois scénarios n'est cependant pas donnée. Il convient de la déterminer avec le maximum de précision puisqu'elle est d'une importance capitale pour le calcul des prévisions des consommations énergétiques, surtout dans le secteur industriel. Les hypothèses qu'on fera à ce sujet auront une incidence directe sur le volume d'énergie demandée par les utilisateurs à l'an 2000.

La quantification de ces hypothèses, c'est-à-dire la part que prendra chaque secteur dans le PIB national, est guidé par deux repères :

- \* le cadre général des scénarios économiques et énergétiques décrit dans le chapitre 3 ;
- \* les prévisions d'emploi par secteur à l'horizon 2000 proposées par l'étude Futuribles.

Le premier repère indique quels sont les secteurs ou sous-secteurs qui verront leur importance s'accroître dans les années à venir, par exemple le secteur tertiaire dans le scénario I et le secteur industriel dans les scénarios II et III ; ou, au contraire, ceux qui enregistreront une régression relative, soit à cause d'hypothèses faites sur l'ouverture des frontières ou sur la division internationale du travail, soit à cause de l'évolution probable des marchés de tels ou tels produits sur le territoire français ou à l'étranger (acier, produits chimiques, etc.). Une première esquisse de la structure du PIB est élaborée au terme de cette première étape. Le second point de repère intervient alors pour comparer cette structure provisoire avec la structure des emplois. Y a-t-il une concordance acceptable ? Y a-t-il une cohérence quant aux différences de productivité selon les secteurs ? Ce sont les divers points qui sont examinés à ce stade d'élaboration du modèle de façon à améliorer et à préciser la structure de départ.

Plusieurs jeux successifs ont ainsi été construits, soumis aux vérifications et aux critiques, jusqu'à parvenir à une structure jugée acceptable et conforme aux orientations générales relatives à la nature et au contenu de la croissance économique. Le tableau 2 présente cette structure en 2000 pour chacun des trois scénarios, accompagnée de la structure observée en 1975.

**TABLEAU 2**  
**PARTS PRISES PAR LES SECTEURS ECONOMIQUES DANS L'EMPLOI (L)**  
**ET DANS LA VALEUR AJOUTEE (VA) EN 1975 ET DANS LES SCENARIOS DE 2000**

|                |    | 1975    |        | 2000    |        |         |        |         |        |
|----------------|----|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                |    |         |        | I       |        | II      |        | III     |        |
|                |    | % total | % ind. | % total | % ind. | % total | % ind. | % total | % ind. |
| Biens          | L  | 7,9     | 27,4   | 7,1     | 28,8   | 7,6     | 27,6   | 7,5     | 27,7   |
| intermédiaires | VA | 9,3     | 32,6   | 8,0     | 30,6   | 9,0     | 30,5   | 10,6    | 30,5   |
| Biens          | L  | 9,7     | 33,9   | 8,6     | 34,8   | 10,1    | 36,9   | 10,7    | 39,3   |
| d'équipement   | VA | 9,0     | 31,6   | 9,0     | 34,5   | 10,6    | 35,9   | 14,2    | 40,8   |
| Biens de       | L  | 7,9     | 27,8   | 6,0     | 24,3   | 6,6     | 24,1   | 6,7     | 24,5   |
| consommation   | VA | 5,5     | 19,1   | 4,3     | 16,5   | 4,8     | 16,3   | 5,7     | 16,4   |
| IAA            | L  | 3,1     | 10,9   | 3,0     | 12,1   | 3,1     | 11,4   | 2,3     | 8,5    |
|                | VA | 4,8     | 16,7   | 4,8     | 18,4   | 5,1     | 17,3   | 4,3     | 12,3   |
| TOTAL          | L  | 28,6    | 100,0  | 24,7    | 100,0  | 27,4    | 100,0  | 27,2    | 100,0  |
| INDUSTRIE      | VA | 28,6    | 100,0  | 26,1    | 100,0  | 29,5    | 100,0  | 34,8    | 100,0  |
| Agriculture    | L  | 9,5     |        | 5,3     |        | 6,7     |        | 7,1     |        |
|                | VA | 5,6     |        | 5,1     |        | 4,3     |        | 4,0     |        |
| BTP            | L  | 9,0     |        | 7,6     |        | 8,3     |        | 9,4     |        |
|                | VA | 8,4     |        | 6,6     |        | 7,2     |        | 8,5     |        |
| (Energ. +)     | L  | 1,6     |        | 1,0     |        | 1,0     |        | 0,9     |        |
|                | VA | 4,3     |        | 4,9     |        | 5,3     |        | 4,0     |        |
| Services       | L  | 51,3    |        | 61,4    |        | 56,6    |        | 55,4    |        |
|                | VA | 53,1    |        | 57,3    |        | 53,7    |        | 48,7    |        |
| TOTAL          | L  | 100,0   |        | 100,0   |        | 100,0   |        | 100,0   |        |
|                | VA | 100,0   |        | 100,0   |        | 100,0   |        | 100,0   |        |

Il convient de souligner les points suivants :

— La part du secteur industriel dans son ensemble croît nettement quand on passe du scénario I au scénario III (respectivement de 26,1 % et de 34,8 %), le scénario II se situant presque au centre de l'intervalle avec 29,5 %. Ce secteur garde une place importante en II et en III, quoique pour des raisons différentes : développement des industries de pointe et sauvegarde des secteurs stratégiques en II, objectif d'autarcie et maintien de l'emploi en III.

— Les industries de biens d'équipement ont la primauté dans les trois scénarios : en I, c'est une conséquence de la régression subie par les biens intermédiaires (abandon de certaines branches et délocalisation en d'autres pays) ; en II, c'est la progression rapide de branches comme l'électronique et la mécanique ; en III, les biens d'équipement sont la monnaie d'échange pour les achats de matières premières.

— Les industries de biens de consommation et les IAA conservent une place assez semblable à leur place actuelle et les variations d'un scénario à l'autre s'expliquent essentiellement par des différences de revenu.

— Le secteur agricole connaît une baisse relative par rapport à 1975 et celle-ci devient de plus en plus forte quand on passe de I à III. Mais, inversement, le niveau d'emploi agricole augmente quand on passe de I à III, c'est-à-dire qu'en I ne seront conservées que les exploitations ayant une forte productivité, alors qu'en III l'objectif est de maintenir l'emploi agricole et d'assurer l'auto-provisionnement au détriment, s'il le faut, de la productivité. La situation de II est intermédiaire entre celle de I et celle de III.

— Les services subissent l'évolution inverse de celle du secteur industriel. Privilégiés en I (développement des institutions financières, passage de services non marchands à des services marchands), maintenus à leur place actuelle en II, ils sont en régression en III pour des raisons opposées à celles de I, c'est-à-dire développement des services publics et des emplois sociaux à valeur ajoutée nulle ou faible.

Connaissant pour 2000 le PIB et sa structure, il est facile de déterminer le montant des VA de chaque secteur. C'est l'objet du tableau 3.

**TABLEAU 3**  
**VALEURS AJOUTEES EN 1975 ET DANS LES TROIS SCENARIOS DE 2000**

| 10 <sup>9</sup> F      | 1975         | 2000         |              |              |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                        |              | I            | II           | III          |
| Biens intermédiaires   | 122          | 315          | 353          | 290          |
| Biens d'équipement     | 118,2        | 354          | 417          | 389          |
| Biens de consommation  | 71,6         | 169          | 190          | 155          |
| IAA                    | 62,4         | 189          | 201          | 118          |
| <b>TOTAL INDUSTRIE</b> | <b>374,2</b> | <b>1 027</b> | <b>1 161</b> | <b>952</b>   |
| Agriculture            | 71,3         | 200          | 168          | 110          |
| BTP                    | 110          | 260          | 283          | 233          |
| Energie et divers      | 56,5         | 191          | 208          | 110          |
| Services               | 696,2        | 2 252        | 2 110        | 1 335        |
| <b>TOTAL</b>           | <b>1 310</b> | <b>3 930</b> | <b>3 930</b> | <b>2 740</b> |

Soulignons que l'ensemble de ces prévisions ne sont pas le résultat de vastes études économiques ou économétriques et qu'elles doivent être comprises en fonction de l'objectif que l'on poursuit de manière sous-jacente, à savoir la prévision des consommations énergétiques. Elles ne constituent ni un plan de développement, ni une série d'objectifs qu'il serait souhaitable de réaliser. Ce ne sont que des traductions d'hypo-

thèses sur trois avenir possibles, les ordres de grandeur et les rapports respectifs ayant plus de signification que les valeurs numériques.

#### IV. LE NIVEAU DE L'EMPLOI EN 2000

Par rapport à l'étude Futuribles (1) donnant le niveau d'emploi régional en 2000 dans les secteurs économiques, on introduit quelques modifications :

- on enlève l'énergie des industries de biens intermédiaires pour en faire un secteur à part entière ;
- on replace l'automobile dans les industries de biens d'équipement, l'étude Futuribles la situant dans les industries de biens de consommation ;
- les IAA sont séparées des industries de biens de consommation pour constituer un nouveau secteur.

Les tableaux contenus dans l'annexe de l'étude Futuribles doivent être modifiés en conséquence :

- pour 1975, les modifications apparues dans les niveaux d'emploi des secteurs et des régions sont réalisées à l'aide du recensement de cette même année ;
- pour 2000, on est conduit à faire des prévisions d'emploi régional dans les trois branches qui changent d'affectation, à savoir l'énergie, l'automobile et les IAA, et à ajouter (ou retrancher) ces prévisions à celles de Futuribles. Ces prévisions régionales sont effectués en adoptant pour la France les mêmes totaux que ceux de Futuribles. Les résultats de ces divers calculs pour 1975, ainsi que pour les trois scénarios de 2000, apparaissent dans les tableaux 4 et 5. On constate que le nombre d'emplois pour l'ensemble des secteurs et pour la France entière est bien celui adopté par Futuribles, tant pour 1975 que pour 2000 (I, II et III). Ces tableaux servent de base au calcul des productivités et des valeurs ajoutées.

#### V. LES PRODUCTIVITES DU TRAVAIL EN 1975 ET 2000

Pour la France entière, connaissant la production (VA) des secteurs et les effectifs employés (L), on peut en déduire les productivités du travail ( $P = VA/L$ ) en 1975 et en 2000. A l'échelon régional, et en 1975, ce calcul est également réalisable et on obtient les productivités P. Les rapports  $P/P$  sont des indicateurs de la dispersion des productivités régionales P autour de la moyenne nationale  $P$ .

Pour le futur, il faut faire des hypothèses sur ces rapports de productivité. On doit être guidé par le souci de rester conformes aux orientations principales de chacun des trois scénarios. En règle générale :

- dans le scénario I, les disparités régionales observées en 1975 sont maintenues en 2000 et même amplifiées ;

(1) « L'emploi ou l'obsession du futur », op. cit.

TABLEAU 4

**L'EMPLOI REGIONAL TOTAL EN 1975 ET VENTILATION DANS LES HUIT SECTEURS ECONOMIQUES (en milliers)**

|                   | INT          | EQT          | CONS         | IAA        | BTP          | AGR          | ENER       | SERV          | TOTAL         |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|---------------|---------------|
| Région Parisienne | 289          | 601          | 310          | 88         | 368          | 40           | 68         | 2 844         | 4 608         |
| Bassin Parisien   | 375          | 406          | 301          | 135        | 323          | 479          | 42         | 1 773         | 3 834         |
| Nord              | 166          | 116          | 174          | 54         | 104          | 70           | 59         | 866           | 1 409         |
| Est               | 245          | 237          | 191          | 59         | 161          | 108          | 41         | 862           | 1 904         |
| Ouest             | 107          | 194          | 176          | 132        | 262          | 507          | 23         | 1 273         | 2 674         |
| Sud-Ouest         | 91           | 99           | 141          | 55         | 174          | 307          | 30         | 907           | 1 804         |
| Massif Central    | 91           | 51           | 62           | 22         | 74           | 153          | 9          | 361           | 822           |
| Rhône-Alpes       | 189          | 242          | 211          | 47         | 181          | 142          | 25         | 930           | 1 967         |
| Méditerranée      | 99           | 87           | 79           | 62         | 236          | 176          | 32         | 1 145         | 1 916         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1 652</b> | <b>2 033</b> | <b>1 645</b> | <b>654</b> | <b>1 883</b> | <b>1 982</b> | <b>328</b> | <b>10 761</b> | <b>20 938</b> |

Source SESAME

**L'EMPLOI REGIONAL TOTAL EN 2000 (I) ET VENTILATION DANS LES HUIT SECTEURS ECONOMIQUES (en milliers)**

|                   | INT          | EQT          | CONS         | IAA        | BTP          | AGR          | ENER       | SERV          | TOTAL         |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|---------------|---------------|
| Région Parisienne | 254          | 583          | 182          | 90         | 340          | 30           | 54         | 3 670         | 5 203         |
| Bassin Parisien   | 399          | 476          | 305          | 138        | 306          | 340          | 40         | 2 403         | 4 407         |
| Nord              | 171          | 97           | 135          | 56         | 93           | 50           | 29         | 764           | 1 395         |
| Est               | 211          | 245          | 171          | 60         | 145          | 60           | 19         | 1 017         | 1 928         |
| Ouest             | 102          | 140          | 162          | 135        | 229          | 300          | 14         | 1 445         | 2 527         |
| Sud-Ouest         | 83           | 42           | 122          | 56         | 145          | 150          | 19         | 1 148         | 1 765         |
| Massif Central    | 70           | 32           | 54           | 23         | 59           | 80           | 5          | 431           | 754           |
| Rhône-Alpes       | 214          | 265          | 175          | 48         | 170          | 80           | 20         | 1 361         | 2 333         |
| Méditerranée      | 86           | 50           | 44           | 64         | 213          | 110          | 20         | 1 511         | 2 098         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1 590</b> | <b>1 930</b> | <b>1 350</b> | <b>670</b> | <b>1 700</b> | <b>1 200</b> | <b>220</b> | <b>13 750</b> | <b>22 410</b> |

Source SESAME

TABLEAU 5

## L'EMPLOI REGIONAL TOTAL EN 2000 (II) ET VENTILATION DANS LES HUIT SECTEURS ECONOMIQUES (en milliers)

|                   | INT          | EQT          | CONS         | IAA        | BTP          | AGR          | ENER       | SERV          | TOTAL         |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|---------------|---------------|
| Région Parisienne | 271          | 661          | 240          | 80         | 380          | 30           | 55         | 3 491         | 5 208         |
| Bassin Parisien   | 438          | 516          | 296          | 158        | 360          | 450          | 40         | 2 391         | 4 649         |
| Nord              | 205          | 156          | 172          | 62         | 130          | 60           | 40         | 831           | 1 656         |
| Est               | 263          | 291          | 211          | 73         | 170          | 80           | 27         | 1 076         | 2 191         |
| Ouest             | 119          | 240          | 187          | 163        | 260          | 400          | 17         | 1 573         | 2 958         |
| Sud-Ouest         | 113          | 106          | 145          | 64         | 180          | 240          | 22         | 1 092         | 1 962         |
| Massif Central    | 74           | 58           | 55           | 27         | 80           | 110          | 6          | 410           | 820           |
| Rhône-Alpes       | 225          | 303          | 205          | 52         | 200          | 100          | 20         | 1 268         | 2 373         |
| Méditerranée      | 102          | 99           | 69           | 71         | 240          | 130          | 23         | 1 468         | 2 203         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1 810</b> | <b>2 430</b> | <b>1 580</b> | <b>750</b> | <b>2 000</b> | <b>1 600</b> | <b>250</b> | <b>13 600</b> | <b>24 020</b> |

Source SESAME

## L'EMPLOI REGIONAL TOTAL EN 2000 (III) ET VENTILATION DANS LES HUIT SECTEURS ECONOMIQUES (en milliers)

|                   | INT          | EQT          | CONS         | IAA        | BTP          | AGR          | ENER       | SERV          | TOTAL         |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|---------------|---------------|
| Région Parisienne | 302          | 628          | 233          | 74         | 420          | 35           | 58         | 3 340         | 5 090         |
| Bassin Parisien   | 444          | 576          | 303          | 125        | 400          | 450          | 36         | 2 533         | 4 867         |
| Nord              | 202          | 200          | 158          | 52         | 180          | 60           | 38         | 1 021         | 1 911         |
| Est               | 275          | 344          | 210          | 57         | 210          | 100          | 25         | 1 221         | 2 442         |
| Ouest             | 165          | 338          | 237          | 132        | 360          | 470          | 15         | 1 962         | 3 679         |
| Sud-Ouest         | 159          | 207          | 196          | 53         | 300          | 310          | 21         | 1 335         | 2 581         |
| Massif Central    | 104          | 73           | 82           | 22         | 100          | 140          | 6          | 531           | 1 058         |
| Rhône-Alpes       | 201          | 334          | 226          | 45         | 230          | 135          | 19         | 1 280         | 2 470         |
| Méditerranée      | 158          | 150          | 135          | 60         | 300          | 200          | 22         | 1 577         | 2 602         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>2 010</b> | <b>2 850</b> | <b>1 780</b> | <b>620</b> | <b>2 500</b> | <b>1 900</b> | <b>240</b> | <b>14 800</b> | <b>26 700</b> |

Source SESAME

— dans le scénario III, on réduit au contraire cette disparité en fixant des rapports  $P/P$  identiques pour toutes les régions, sauf pour la Région Parisienne qui conserve encore une légère avance ;

— dans le scénario II, on retient des rapports de productivité intermédiaires entre ceux des scénarios I et III.

A partir des productivités moyennes nationales  $P$ , on passe facilement des rapports  $P/P$  aux valeurs de  $P$ .

## **VI. LES VALEURS AJOUTEES DES SECTEURS A L'ECHELON REGIONAL EN 2000**

Les productivités et les niveaux d'emploi  $L$  permettent de définir les valeurs ajoutées de chacun des secteurs par la relation  $VA = P \times L$ , et cela pour les trois scénarios de 2000. Les PIB régionaux sont calculés comme la somme des valeurs ajoutées sectorielles (cf. tableau 6).

## **VII. LES VALEURS AJOUTEES A L'HORIZON 1985**

La détermination des valeurs ajoutées en 1975 est essentiellement fondée sur des interpolations entre la situation de 1975 et celle de 2000. A l'échelon national, la base de départ (1975) des calculs est le tableau 2. A l'échelon régional, on utilise l'intermédiaire constitué par les parts de chaque secteur dans le PIB régional. Quelques itérations de bouclage sont nécessaires pour ajuster le tableau des valeurs ajoutées régionales dans ses deux dimensions et pour retrouver les taux de croissance du PIB national durant les dix premières années. Les résultats de ces calculs apparaissent dans le tableau 7.

TABLEAU 6

PIB ET VALEURS AJOUTEES DES SECTEURS (10<sup>8</sup> F) EN 1985 SCENARIO I

|                   | INT   | EQT   | CONS | IAA | BTP   | AGR | ENER | SERV  | PIB    |
|-------------------|-------|-------|------|-----|-------|-----|------|-------|--------|
| Région Parisienne | 331   | 581   | 162  | 145 | 369   | 31  | 229  | 3 361 | 5 209  |
| Bassin Parisien   | 316   | 322   | 170  | 176 | 200   | 294 | 123  | 1 391 | 2 992  |
| Nord              | 179   | 87    | 106  | 79  | 84    | 45  | 70   | 542   | 1 192  |
| Est               | 216   | 173   | 100  | 80  | 116   | 63  | 67   | 715   | 1 530  |
| Ouest             | 79    | 112   | 81   | 122 | 154   | 209 | 60   | 882   | 1 699  |
| Sud-Ouest         | 79    | 48    | 74   | 70  | 101   | 115 | 71   | 686   | 1 244  |
| Massif Central    | 53    | 30    | 43   | 36  | 41    | 51  | 19   | 260   | 533    |
| Rhône-Alpes       | 212   | 181   | 114  | 68  | 139   | 57  | 88   | 842   | 1 701  |
| Méditerranée      | 80    | 51    | 34   | 70  | 148   | 86  | 72   | 965   | 1 506  |
| TOTAL             | 1 545 | 1 585 | 884  | 846 | 1 352 | 951 | 799  | 9 644 | 17 606 |

PIB ET VALEURS AJOUTEES DES SECTEURS (10<sup>8</sup> F) EN 1985. SCENARIO II

|                   | INT   | EQT   | CONS  | IAA | BTP   | AGR | ENER | SERV   | PIB    |
|-------------------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|------|--------|--------|
| Région Parisienne | 345   | 626   | 186   | 143 | 397   | 56  | 261  | 3 398  | 5 418  |
| Bassin Parisien   | 371   | 357   | 180   | 198 | 245   | 307 | 129  | 1 562  | 3 349  |
| Nord              | 206   | 117   | 117   | 83  | 100   | 42  | 105  | 597    | 1 365  |
| Est               | 263   | 200   | 125   | 95  | 128   | 53  | 84   | 796    | 1 742  |
| Ouest             | 99    | 156   | 100   | 158 | 185   | 201 | 57   | 1 018  | 1 976  |
| Sud-Ouest         | 100   | 76    | 86    | 77  | 118   | 129 | 81   | 741    | 1 409  |
| Massif Central    | 64    | 45    | 45    | 38  | 50    | 55  | 23   | 278    | 596    |
| Rhône-Alpes       | 233   | 218   | 127   | 78  | 156   | 57  | 90   | 909    | 1 868  |
| Méditerranée      | 99    | 74    | 46    | 84  | 157   | 85  | 80   | 1 044  | 1 667  |
| TOTAL             | 1 780 | 1 869 | 1 012 | 954 | 1 536 | 985 | 910  | 10 343 | 19 390 |

TABLEAU 7

PIB ET VALEURS AJOUTÉES REGIONALES DES SECTEURS (10<sup>8</sup> F) EN 2000. SCENARIO I

|                   | INT   | EQT   | CONS  | IAA   | BTP   | AGR   | ENER  | SERV   | PIB    |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Région Parisienne | 627   | 1 280 | 251   | 330   | 651   | 74    | 588   | 7 485  | 11 286 |
| Bassin Parisien   | 703   | 815   | 400   | 428   | 421   | 650   | 382   | 3 528  | 7 322  |
| Nord              | 370   | 179   | 187   | 173   | 157   | 95    | 126   | 1 183  | 2 470  |
| Est               | 414   | 404   | 204   | 178   | 221   | 113   | 115   | 1 575  | 3 224  |
| Ouest             | 159   | 205   | 162   | 266   | 316   | 440   | 122   | 2 000  | 3 670  |
| Sud-Ouest         | 146   | 65    | 138   | 142   | 199   | 220   | 148   | 1 588  | 2 646  |
| Massif Central    | 96    | 53    | 74    | 71    | 82    | 107   | 39    | 596    | 1 118  |
| Rhône-Alpes       | 484   | 461   | 224   | 149   | 260   | 119   | 234   | 2 221  | 4 152  |
| Méditerranée      | 151   | 83    | 50    | 153   | 293   | 182   | 156   | 2 344  | 3 412  |
| TOTAL             | 3 150 | 3 540 | 1 690 | 1 890 | 2 600 | 2 000 | 1 910 | 22 520 | 39 300 |

PIB ET VALEURS AJOUTÉES REGIONALES DES SECTEURS (10<sup>8</sup> F) EN 2000. SCENARIO II

|                   | INT   | EQT   | CONS  | IAA   | BTP   | AGR   | ENER  | SERV   | PIB    |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Région Parisienne | 609   | 1 305 | 309   | 264   | 674   | 47    | 572   | 6 218  | 9 998  |
| Bassin Parisien   | 805   | 843   | 363   | 449   | 459   | 544   | 366   | 3 517  | 7 346  |
| Nord              | 418   | 266   | 218   | 173   | 203   | 73    | 216   | 1 235  | 2 802  |
| Est               | 504   | 470   | 247   | 199   | 241   | 98    | 168   | 1 600  | 3 527  |
| Ouest             | 208   | 367   | 203   | 370   | 331   | 370   | 141   | 2 241  | 4 231  |
| Sud-Ouest         | 208   | 166   | 166   | 162   | 230   | 222   | 165   | 1 556  | 2 875  |
| Massif Central    | 122   | 93    | 69    | 75    | 102   | 92    | 45    | 585    | 1 183  |
| Rhône-Alpes       | 468   | 502   | 246   | 145   | 284   | 96    | 225   | 1 964  | 3 930  |
| Méditerranée      | 188   | 158   | 79    | 173   | 306   | 138   | 182   | 2 184  | 3 408  |
| TOTAL             | 3 530 | 4 170 | 1 900 | 2 010 | 2 830 | 1 680 | 2 080 | 21 100 | 39 300 |



**PIB ET VALEURS AJOUTÉES RÉGIONALES DES SECTEURS (10<sup>8</sup> F) EN 2000. SCENARIO III**

|                   | INT          | EQT          | CONS         | IAA          | BTP          | AGR          | ENER         | SERV          | PIB           |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Région Parisienne | 478          | 941          | 213          | 162          | 415          | 32           | 292          | 3 145         | 5 678         |
| Bassin Parisien   | 629          | 783          | 261          | 233          | 369          | 303          | 181          | 2 257         | 4 996         |
| Nord              | 287          | 266          | 136          | 97           | 166          | 41           | 139          | 910           | 2 042         |
| Est               | 390          | 457          | 182          | 106          | 193          | 68           | 92           | 1 088         | 2 576         |
| Ouest             | 234          | 448          | 205          | 246          | 331          | 242          | 69           | 1 747         | 3 522         |
| Sud-Ouest         | 225          | 275          | 170          | 99           | 276          | 159          | 91           | 1 188         | 2 483         |
| Massif Central    | 148          | 97           | 71           | 41           | 92           | 66           | 26           | 472           | 1 013         |
| Rhône-Alpes       | 285          | 443          | 196          | 84           | 212          | 71           | 109          | 1 139         | 2 539         |
| Méditerranée      | 224          | 200          | 116          | 112          | 276          | 118          | 101          | 1 404         | 2 551         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>2 900</b> | <b>3 890</b> | <b>1 550</b> | <b>1 180</b> | <b>2 330</b> | <b>1 110</b> | <b>1 100</b> | <b>13 350</b> | <b>27 400</b> |

**TABLEAU 8**
**POPULATION DES RÉGIONS EN 1975, 1985 ET 2000 (milliers)**

|                   | 1975          | 1985<br>SCENARIO 1 | 2000<br>SCENARIO 1 | 1985<br>SCENARIO 2 | 2000<br>SCENARIO 2 | 2000<br>SCENARIO 3 |
|-------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Région Parisienne | 9 864         | 10 520             | 11 600             | 10 310             | 11 020             | 10 560             |
| Bassin Parisien   | 9 642         | 10 220             | 11 140             | 10 150             | 10 970             | 10 570             |
| Nord              | 3 914         | 3 970              | 4 060              | 4 040              | 4 230              | 4 250              |
| Est               | 4 908         | 5 030              | 5 220              | 5 140              | 5 510              | 5 380              |
| Ouest             | 6 890         | 6 920              | 6 960              | 7 140              | 7 540              | 8 020              |
| Sud-Ouest         | 4 818         | 4 930              | 5 100              | 4 970              | 5 220              | 5 630              |
| Massif Central    | 2 069         | 2 050              | 2 030              | 2 070              | 2 080              | 2 320              |
| Rhône-Alpes       | 4 781         | 5 170              | 5 800              | 5 060              | 5 510              | 5 280              |
| Méditerranée      | 5 770         | 5 900              | 6 090              | 5 830              | 5 920              | 5 990              |
| <b>TOTAL</b>      | <b>52 656</b> | <b>54 710</b>      | <b>58 000</b>      | <b>54 710</b>      | <b>58 000</b>      | <b>58 000</b>      |

## **ANNEXE III**

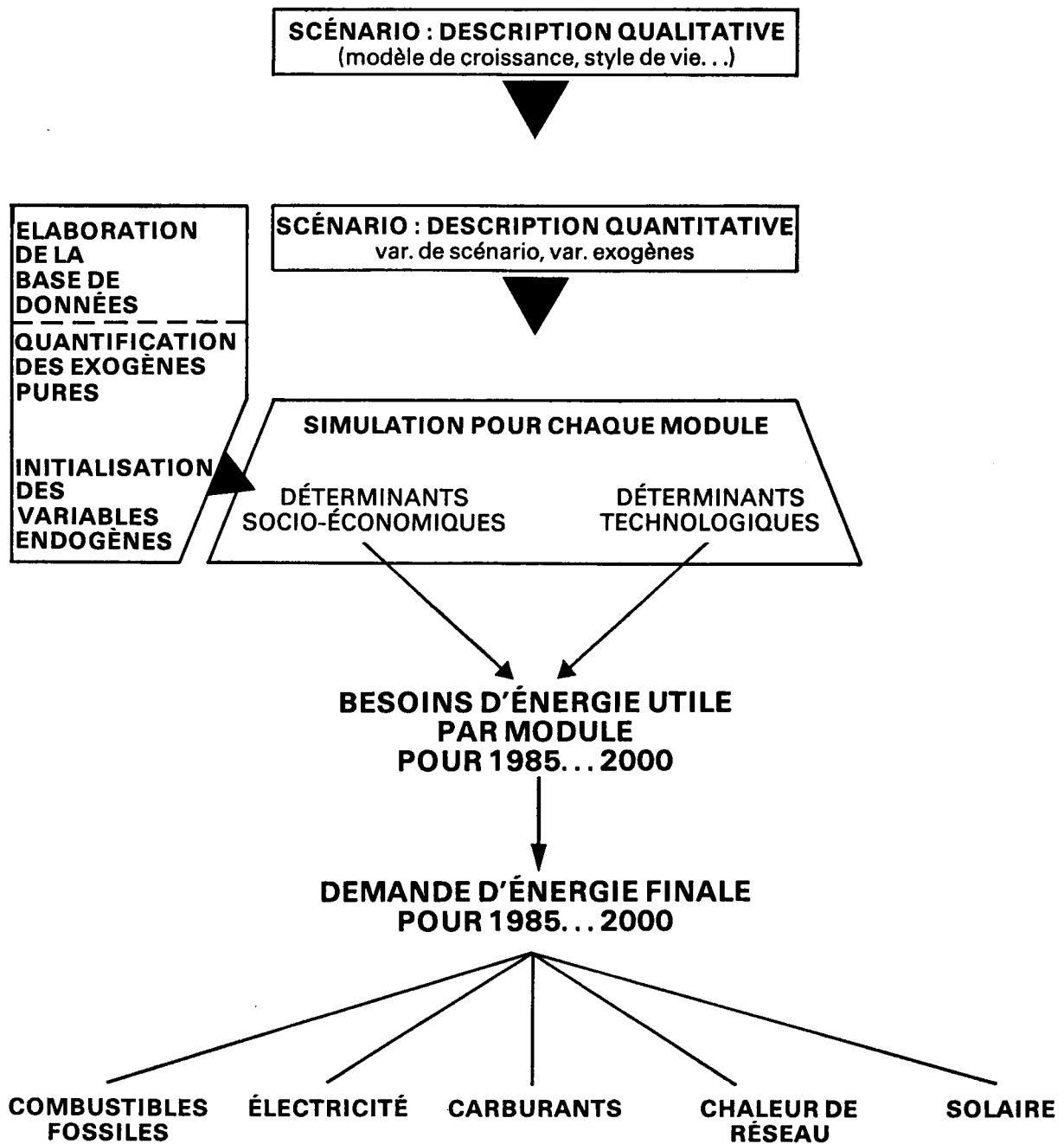
---

### **LE MODELE DE SIMULATION DE LA DEMANDE : LES MODULES ET LES VARIABLES D'ENTREE**

---

Après le schéma de principe du modèle de simulation, on présente quatre exemples de module (chauffage domestique, chauffage des locaux du tertiaire, secteur industriel, transports urbains) avec la description des variables qui interviennent dans les calculs de simulation. Pour les autres modules, on se contente de donner la liste de ces variables.

## SCHÉMA DE MISE EN ŒUVRE DE MÈDÉE



### CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE

VARIABLES : – ENDOGÈNES (CALCULÉES PAR LE MODÈLE)  
– EXOGÈNES, INDÉPENDANTES DES SCÉNARIOS  
– ÉLÉMENTS DE LA BASE DES SCÉNARIOS

RELATIONS MATHÉMATIQUES :

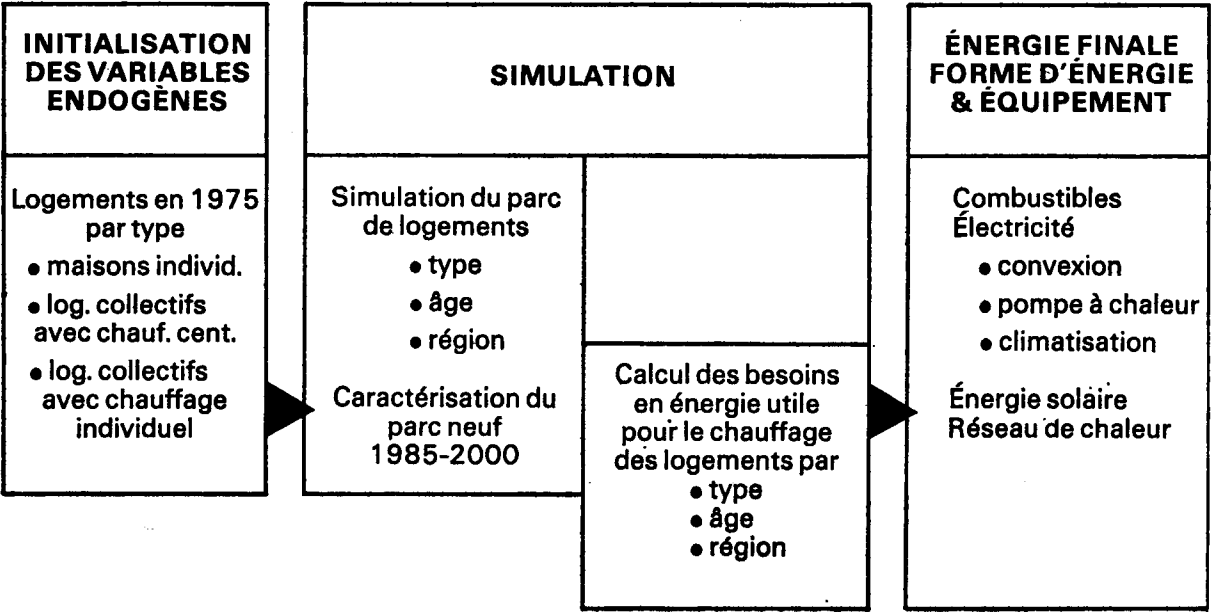
– STATIQUES (CALCUL DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE DANS UNE COUPE TEMPORELLE)  
– DYNAMIQUES (SIMULATION DANS LE TEMPS DE L'ÉVOLUTION DES VARIABLES ENDOGÈNES)

MODULE : CHAUFFAGE DOMESTIQUE

DESCRIPTION QUALITATIVE



| DESCRIPTION QUANTITATIVE                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VARIABLES DE SCÉNARIO                                                                                                                                                                                                                                                                                          | VARIABLES EXOGÈNES                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Population/type d’agglomération</li><li>• Normes d’isolation par type de logement</li><li>• Rendement moyen des combustibles</li><li>• Taux de pénétration des équipements de chauffage</li><li>• Consommation unitaire d’énergie utile par type de logement</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Population en 1975, 1985, 2000</li><li>• Nombre moyen de personnes par logement</li><li>• Besoins en température (nombre de degrés-jour)</li><li>• Besoins en volume (volume unitaire des divers types de logements)</li><li>• Taux de démolition des logements</li></ul> |

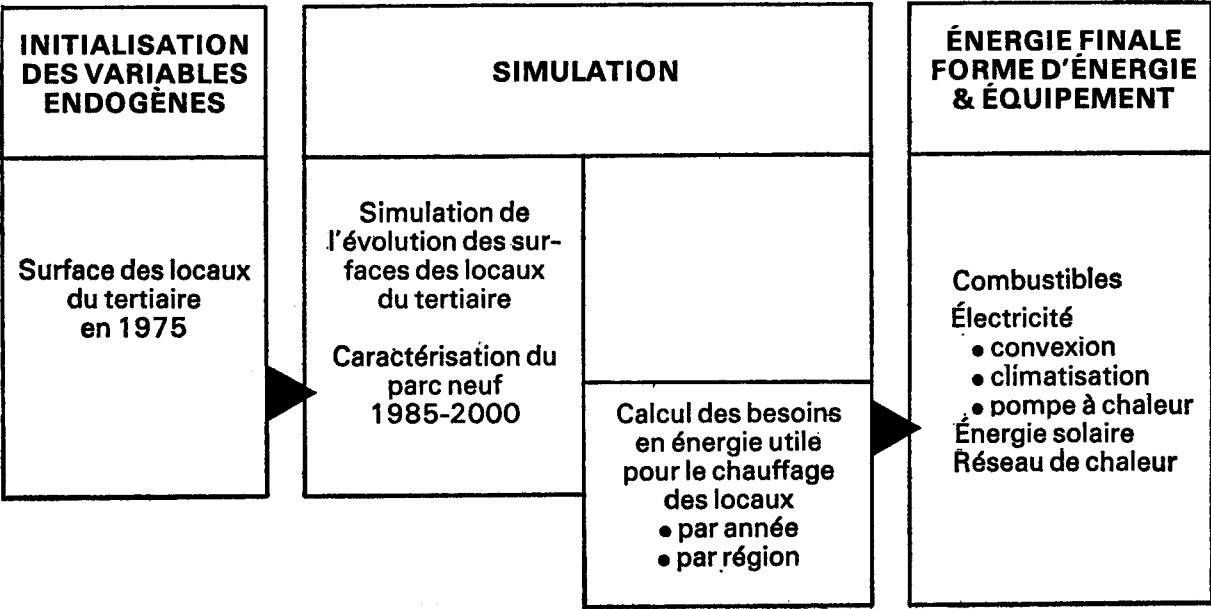


MODULE : CHAUFFAGE TERTIAIRE

DESCRIPTION QUALITATIVE



| DESCRIPTION QUANTITATIVE                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VARIABLES DE SCÉNARIO                                                                                                                                                                                                                                                                                 | VARIABLES EXOGÈNES                                                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Valeur ajoutée et emploi du tertiaire</li><li>• Normes d'isolation</li><li>• Rendement moyen des combustibles</li><li>• Taux de pénétration des équipements de chauffage</li><li>• Consommation d'énergie utile par m2 dans les locaux du tertiaire</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Surface moyenne par employé</li><li>• Part des petits bâtiments dans les locaux du tertiaire</li><li>• Taux de démolition des locaux</li></ul> |



MODULE : SECTEUR INDUSTRIEL

DESCRIPTION QUALITATIVE



| DESCRIPTION QUANTITATIVE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VARIABLES DE SCÉNARIO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | VARIABLES EXOGÈNES                                                                                                                 |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Valeurs ajoutées des branches industrielles</li><li>• Rendement des combustibles selon les usages</li><li>• Taux de pénétration<ul style="list-style-type: none"><li>– de l’électricité dans les usages thermiques</li><li>– du solaire dans les usages basse température</li><li>– des pompes à chaleur</li><li>– de la cogénération chaleur-force</li></ul></li><li>• Consommation d’énergie utile par F de valeur ajoutée selon les usages</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Part des besoins vapeur + chauffage</li><li>• Part des besoins basse température</li></ul> |



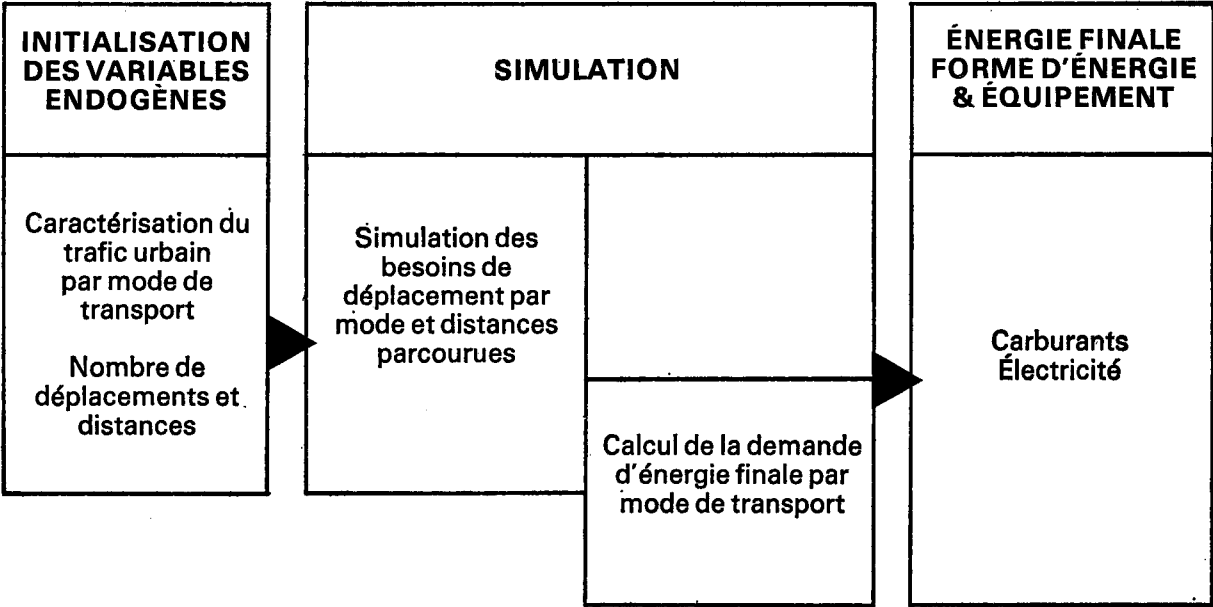
| INITIALISATION<br>DES VARIABLES<br>ENDOGENES | SIMULATION                                                                                                                                        | ÉNERGIE FINALE<br>FORME D'ÉNERGIE<br>& ÉQUIPEMENT                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              | <p>Calcul des besoins en énergie utile</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• par année</li><li>• par branche</li><li>• par région</li></ul> | <p>Combustibles</p> <p>Électricité</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• usage direct</li><li>• pompe à chaleur</li></ul> <p>Énergie solaire</p> <p>Réseau de chaleur</p> <p>Cogénération</p> |

MODULE : TRANSPORTS URBAINS

DESCRIPTION QUALITATIVE



| DESCRIPTION QUANTITATIVE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VARIABLES DE SCÉNARIO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | VARIABLES EXOGÈNES                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"><li>● Population/type d’agglomération</li><li>● Taux de motorisation</li><li>● Parts du trafic passager<ul style="list-style-type: none"><li>– par voiture</li><li>– par transport collectif</li></ul></li><li>● Taux de remplissage des voitures individuelles</li><li>● Taux de remplissage des transports collectifs</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>● Population en 1975, 1985, 2000</li><li>● Distance moyenne parcourue par an et par personne</li><li>● Consommation unitaire de carburants des autobus/km</li><li>● Consommation unitaire des voitures en zone urbaine/km</li></ul> |





| MODULES                                 | VARIABLES DE SCENARIO                                                                                                                                                                                                                                                    | VARIABLES EXOGENES                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eau chaude<br>sanitaire                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Part des logements ayant l'ECS</li> <li>* Rendement moyen de combustibles</li> <li>* Taux de pénétration de l'électricité</li> <li>* Taux de pénétration du solaire</li> <li>* Consommation d'énergie utile/personne</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Part des besoins d'énergie utile couverte par le solaire</li> </ul>                                                                                                                                                                         |
| Cuisson                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Rendement moyen des combustibles</li> <li>* Taux de pénétration de l'électricité</li> <li>* Consommation d'énergie utile/logement</li> </ul>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Transports<br>passagers<br>interurbains | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Mobilité longue distance</li> <li>* Part du trafic passager/avion-train-autocar</li> <li>* Taux de remplissage des avions, trains, autocars</li> </ul>                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Part du trafic ferroviaire par train électrique</li> <li>* Consommations unitaires <ul style="list-style-type: none"> <li>— voitures/km</li> <li>— trains/siège/km</li> <li>— autocars/km</li> <li>— avions/siège/km</li> </ul> </li> </ul> |
| Transports<br>Marchandises              | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Valeur ajoutée des secteurs</li> <li>* Part du trafic <ul style="list-style-type: none"> <li>— route</li> <li>— rail</li> <li>— péniche</li> </ul> </li> </ul>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Part du trafic ferroviaire par train électrique</li> <li>* Consommations unitaires <ul style="list-style-type: none"> <li>— camions/t/km</li> <li>— trains/t/km</li> <li>— péniches/t/km</li> </ul> </li> </ul>                             |
| Agriculture                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Valeur ajoutée de l'agriculture</li> <li>* Consommation unitaire/F</li> </ul>                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Bâtiment                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Valeur ajoutée du BTP</li> <li>* Consommation unitaire/F</li> </ul>                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

---

**ANALYSE SECTORIELLE  
DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE**

---

## **LES ASPECTS ESSENTIELS DE L'ANALYSE SECTORIELLE DES CONSOMMATIONS**

### **\* LE SECTEUR RESIDENTIEL**

Le chauffage reste l'usage dominant sur toute la période de prévision : 72 %-77 % des besoins d'énergie utile en 2000 contre 84 % en 1975. L'incidence de la réduction des besoins de chaleur dans les logements antérieurs à 1975 semble nettement plus forte que celle des normes d'isolation envisagées dans les logements construits après cette date. Le potentiel d'économie réalisable est donc à espérer davantage du côté des logements anciens que des logements neufs.

Les besoins d'eau chaude sanitaire doublent en passant de 21 % des besoins totaux en 1975 à 22-25 % en 2000. C'est le résultat de l'augmentation du nombre de logements possédant l'ECS et de la croissance des besoins unitaires par logement. Les besoins de cuisine restent en revanche pratiquement stables sur toute la période.

Les besoins d'électricité spécifique progressent à un rythme annuel de 7,5 % entre 1975 et 1985, progression nettement ralentie ensuite (3,1 % - 3,8 %) en raison de l'existence de seuils de saturation.

Dans les scénarios II et I, les régions adoptent chacune les modes de consommation retenus pour la moyenne nationale et les variations quantitatives sont expliquées pour l'essentiel par les différences de population. Dans le scénario III, par le biais d'un apport plus massif des nouvelles formes d'énergie, les régions parviennent à acquérir peu à peu une certaine spécificité et cela ouvre le champ aux énergies locales qui se substituent aux énergies traditionnelles.

### **\* LE SECTEUR TERTIAIRE**

Ce secteur est surtout caractérisé par une progression très modérée des besoins d'énergie utile pour les usages thermiques. Dans les locaux anciens, les consommations unitaires par m<sup>2</sup> sont déjà élevées et ne devraient pas croître dans l'avenir. Dans les locaux neufs, les coefficients d'isolation sont supérieurs à ceux de 1975 et les techniques de récupération de la chaleur davantage utilisées.

Cette constatation est encore valable en ce qui concerne l'électricité spécifique. Les consommations unitaires sont déjà proches du niveau de saturation (90 kWh/m<sup>2</sup>). La place de ce secteur dans l'ensemble résidentiel + tertiaire tend donc à se réduire au fil des années.

### **\* LE SECTEUR INDUSTRIEL**

La variable explicative essentielle du niveau de consommation est la valeur ajoutée : volume et structure. Ce niveau est donc d'autant plus élevé que ce volume est grand, ce qui explique que le scénario II ait la demande d'énergie finale la plus élevée en 2000, soit 103 Mtep contre 95 Mtep en I et 79 Mtep en III. Cela explique également que les régions dont les besoins sont les plus élevés sont les régions où la part des biens intermédiaires dans la valeur ajoutée totale est la plus grande (Est, Nord et Bassin Parisien).

Les combustibles et l'électricité restent prioritaires avec des pourcentages qui évoluent assez peu d'un scénario à l'autre et même entre le début et la fin de la période de prévision. En 2000, les combustibles couvrent entre 75 % et 80 % des besoins, l'électricité entre 19 % et 23 %, alors qu'en 1975 ces pourcentages

sont respectivement égaux à 84 % et 16 %. L'élasticité de la consommation énergétique totale par rapport au PIB prend ses valeurs entre 0,6 et 0,8.

Les spécificités régionales constatées dans le passé se prolongent durant la période de prévision (cas du Sud-Ouest et de Rhône-Alpes pour l'électricité). En ce qui concerne les nouvelles formes d'énergie, les conditions locales d'approvisionnement ont une incidence nettement plus faible que pour les secteurs résidentiel et tertiaire. Dans le scénario III, le plus favorable à leur pénétration, ces énergies ne parviennent à assurer que 5 % de la demande totale du secteur industriel (respectivement 0,5 % et 1,4 % en I et II), essentiellement sous forme de rejets thermiques et d'énergie solaire.

#### **\* LE SECTEUR DES TRANSPORTS**

La conclusion la plus frappante est certainement l'ampleur des écarts dans les demandes de carburant en 2000, soit respectivement pour les trois scénarios 64 Mtep, 51 Mtep et 34 Mtep, contre 30,2 Mtep en 1975. Le niveau atteint par le scénario I est presque le double de celui du scénario III, le scénario II se situant à mi-chemin. La saturation des besoins (par exemple, le nombre de km parcourus par chaque automobile), la baisse des consommations unitaires et, pour le scénario III, la substitution partielle des moyens individuels de transport par des moyens collectifs, sont les facteurs principaux qui expliquent l'ampleur de ces écarts.

TABLEAU 1

**CONSOMMATIONS D'ENERGIE UTILE DU SECTEUR RESIDENTIEL ET DU SECTEUR TERTIAIRE  
VENTILEES PAR USAGE  
REALISATIONS 1975 ET PREVISIONS EN 1985 ET 2000**

| RESIDENTIEL                                                                      | 1975             | 1985                |  |                     |  | 2000                 |  |                      |  |                     |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|--|---------------------|--|----------------------|--|----------------------|--|---------------------|--|
|                                                                                  |                  | I                   |  | II                  |  | I                    |  | II                   |  | III                 |  |
| Nbre de logements<br>(millions) TOTAL<br>avant 75 — après 75                     | 17,75            | 18,90<br>15,22 3,68 |  | 18,90<br>15,22 3,68 |  | 20,80<br>11,12 9,68  |  | 20,80<br>11,12 9,68  |  | 20,80<br>11,12 9,68 |  |
| Energie utile Tous<br>chauffage logements<br>(Mtep)<br>avant 75 — après 75       | 17,18<br>17,18 0 | 23,42<br>18,10 5,32 |  | 21,78<br>16,46 5,32 |  | 28,95<br>14,34 14,61 |  | 25,75<br>11,62 14,13 |  | 23,49<br>9,87 13,62 |  |
| Energie utile eau chaude<br>(Mtep)                                               | 2,37             | 4,65                |  | 4,65                |  | 8,13                 |  | 8,13                 |  | 8,13                |  |
| Energie utile cuisson<br>(Mtep)                                                  | 0,87             | 0,82                |  | 0,82                |  | 0,68                 |  | 0,68                 |  | 1,02                |  |
| Electricité spécifique<br>(TWh)                                                  | 22,98            | 47,24               |  | 47,24               |  | 83,20                |  | 74,88                |  | 52,00               |  |
| TERTIAIRE                                                                        |                  |                     |  |                     |  |                      |  |                      |  |                     |  |
| Surface des locaux<br>tertiaire TOTAL<br>(millions de m²)<br>avant 75 — après 75 | 350              | 382<br>301 81       |  | 414<br>300 114      |  | 588<br>234 354       |  | 518<br>234 284       |  | 482<br>234 248      |  |
| Energie utile<br>chauffage et eau chaude<br>(Mtep)                               | 8,75             | 8,75                |  | 8,71                |  | 11,14                |  | 9,14                 |  | 7,67                |  |
| Electricité spécifique<br>(TWh)                                                  | 24,35            | 27,58               |  | 30,06               |  | 48,20                |  | 42,09                |  | 38,77               |  |

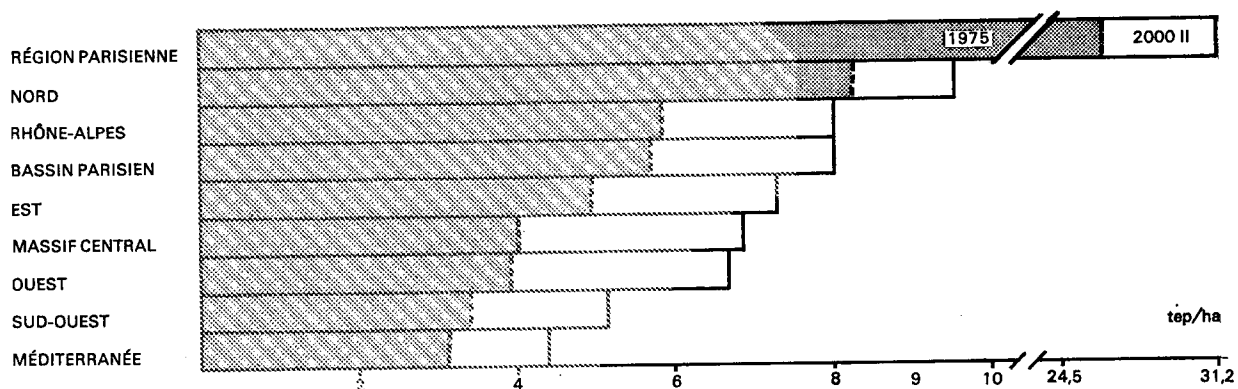
TABLEAU 2

**LES CONSOMMATIONS D'ENERGIE DU SECTEUR RESIDENTIEL-TERTIAIRE**

| Mtep<br>1 TWh = 0,086 Mtep | 1975 | 1985  |       | 2000  |       |       |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            |      | I     | II    | I     | II    | III   |
| Combustibles (1)           | 39,4 | 46,3  | 37,7  | 48,2  | 34,0  | 29,9  |
| Nouvelles formes d'énergie | —    | 1,2   | 2,6   | 3,6   | 8,3   | 15,1  |
| Electricité                | 5,8  | 10,9  | 12,1  | 20,0  | 20,0  | 13,1  |
| (TWh)                      | (68) | (127) | (141) | (233) | (233) | (153) |
| TOTAL                      | 45   | 58    | 52    | 72    | 62    | 58    |

(1) Déduction faite des quantités consommées dans les centrales chaleur-force.

## INDICES DE DENSITÉ DE CONSOMMATION (1) 1975 et 2000 II



(1) Rapport de la consommation d'énergie à la surface des unités urbaines.

## RÉPARTITION PAR FORME D'ÉNERGIE

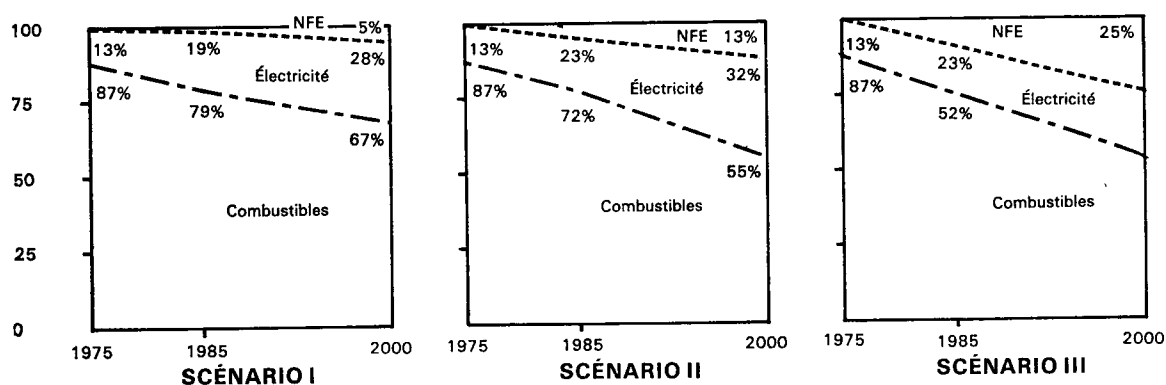


TABLEAU 3  
LES CONSOMMATIONS TOTALES D'ÉNERGIE DU SECTEUR RESIDENTIEL-TERTIAIRE  
DANS LES NEUF RÉGIONS

| Mtep<br>1 TWh = 0,086 Mtep | 1975 | 1985 |      | 2000 |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                            |      | I    | II   | I    | II   | III  |
| Région Parisienne          | 10,5 | 13,1 | 11,6 | 16,4 | 13,4 | 12,2 |
| Bassin Parisien            | 8,5  | 10,9 | 9,6  | 13,9 | 12,0 | 10,7 |
| Nord                       | 3,7  | 4,1  | 3,8  | 4,9  | 4,3  | 4,2  |
| Est                        | 4,3  | 5,6  | 5,0  | 6,7  | 6,0  | 5,4  |
| Ouest                      | 4,6  | 6,7  | 6,3  | 7,9  | 7,5  | 7,5  |
| Sud-Ouest                  | 3,6  | 4,7  | 4,3  | 5,7  | 5,3  | 5,3  |
| Massif Central             | 1,4  | 2,3  | 2,0  | 2,4  | 2,3  | 2,2  |
| Rhône-Alpes                | 4,4  | 5,7  | 5,0  | 7,4  | 5,9  | 5,5  |
| Méditerranée               | 4,1  | 5,3  | 4,8  | 6,5  | 5,6  | 5,2  |
| TOTAL                      | 45   | 58   | 52   | 72   | 62   | 58   |

**TABEAU 4**  
**PART DES NOUVELLES FORMES D'ENERGIE DANS LE SECTEUR RESIDENTIEL-TERTIAIRE**

| %                             | 2000       |            |            |
|-------------------------------|------------|------------|------------|
|                               | I          | II         | III        |
| Biomasse                      | 46         | 39         | 43         |
| Solaire                       | 22         | 22         | 24         |
| Déchets urbains               | 11         | 10         | 11         |
| Géothermie                    | 7          | 6          | 4          |
| Rejets thermiques industriels | 3          | 2          | 2          |
| Pompes à chaleur              | 11         | 21         | 16         |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> |

**TABEAU 5**  
**LES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DU SECTEUR AGRICOLE**

|                             | 1975  | 1985  |       | 2000  |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             |       | I     | II    | I     | II    | III   |
| Combustibles<br>(1 000 tep) | 2 354 | 2 910 | 2 990 | 5 760 | 4 870 | 3 160 |
| Electricité (GWh)           | 1 370 | 1 770 | 1 900 | 3 760 | 3 110 | 2 030 |

**TABEAU 6**  
**LES CONSOMMATIONS D'ENERGIE UTILE ET D'ENERGIE FINALE DU SECTEUR INDUSTRIEL**

|                                                | 1975  | 1985  |       | 2000   |        |       |
|------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
|                                                |       | I     | II    | I      | II     | III   |
| Energie utile (1) (Mtep)                       | 27,6  | 31,5  | 34,5  | 58,5   | 62,1   | 47,1  |
| Energie thermique<br>(Mtep) combustibl. (2)    | 37,8  | 42,2  | 45,8  | 75,7   | 78,0   | 59,2  |
| » nouv. formes<br>d'énergie                    | 0     | 0     | 0,6   | 0,4    | 1,4    | 3,7   |
| Electricité totale<br>(TWh) électr. spécif.    | 83    | 110   | 125   | 219    | 275    | 186   |
| » électr. subst.                               | —     | 102   | 103   | 185    | 202    | 160   |
|                                                | —     | 8     | 22    | 34     | 73     | 26    |
| Autoproduction<br>d'électricité (3) (TWh)      | 6     | 10    | 10    | 10     | 14     | 39    |
| Total d'énergie<br>finale (4) (Mtep)           | 45    | 52    | 57    | 95     | 103    | 79    |
| Valeur ajoutée industr.<br>(10 <sup>8</sup> F) | 3 742 | 4 860 | 5 615 | 10 270 | 11 610 | 9 520 |

(1) Pour l'industrie, hors BTP.

(2) Déduction faite des combustibles nécessaires à l'autoproduction d'électricité.

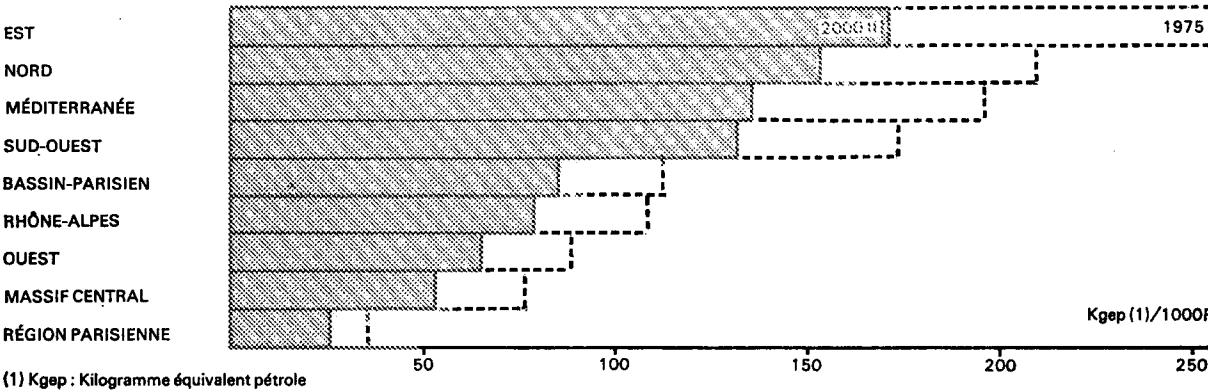
(3) Les TWh correspondants sont déjà comptabilisés dans la ligne Electricité totale.

(4) 1 TWh = 0,086 Mtep.

**TABEAU 7**  
**LES PARTS DES NOUVELLES FORMES D'ENERGIE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL**

| %                             | 2000       |            |            |
|-------------------------------|------------|------------|------------|
|                               | I          | II         | III        |
| Biomasse                      | —          | —          | —          |
| Solaire                       | —          | 43         | 50         |
| Déchets urbains               | —          | —          | —          |
| Géothermie                    | —          | —          | —          |
| Rejets thermiques industriels | 100        | 46         | 45         |
| Pompes à chaleur              | —          | 11         | 5          |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> |

**CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR F. DE VALEUR AJOUTÉE EN 1975 et 2000 II**



**RÉPARTITION PAR FORME D'ÉNERGIE**

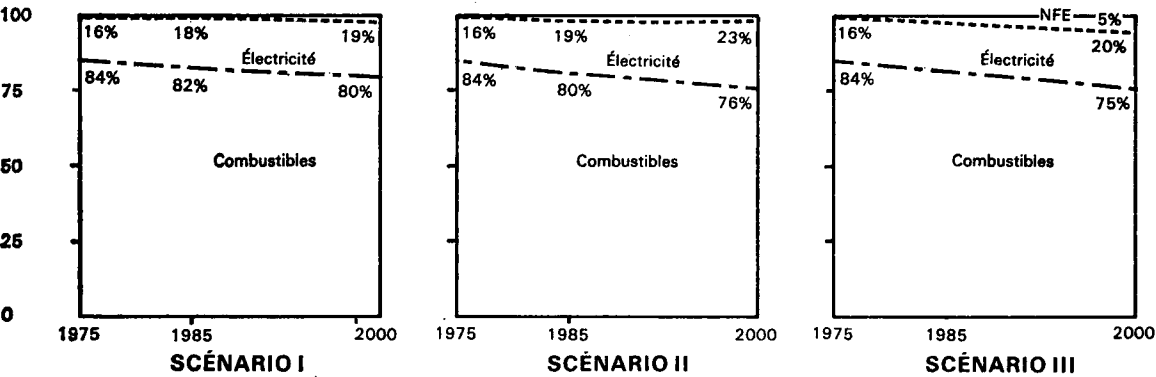


TABLEAU 8  
 LES CONSOMMATIONS TOTALES D'ÉNERGIE DU SECTEUR INDUSTRIEL  
 DANS LES NEUF RÉGIONS

| Mtep<br>1 TWh = 0,086 Mtep | 1975 | 1985 |      | 2000 |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                            |      | I    | II   | I    | II   | III  |
|                            |      |      |      |      |      |      |
| Région Parisienne          | 3,6  | 4,3  | 4,4  | 7,6  | 7,1  | 4,8  |
| Bassin Parisien            | 7,8  | 9,6  | 10,4 | 19,7 | 20,1 | 14,0 |
| Nord                       | 7,1  | 8,1  | 8,7  | 14,9 | 15,8 | 10,2 |
| Est                        | 10,8 | 11,9 | 13,6 | 20,7 | 23,4 | 17,0 |
| Ouest                      | 2,6  | 3,1  | 3,8  | 5,7  | 7,2  | 6,7  |
| Sud-Ouest                  | 3,7  | 4,0  | 4,8  | 6,7  | 8,9  | 9,1  |
| Massif Central             | 1,0  | 0,9  | 1,1  | 1,5  | 1,9  | 1,8  |
| Rhône-Alpes                | 4,6  | 5,7  | 5,9  | 11,4 | 10,7 | 6,8  |
| Méditerranée               | 3,7  | 4,0  | 4,5  | 6,7  | 7,8  | 8,5  |
| TOTAL                      | 45   | 52   | 57   | 95   | 103  | 79   |



**TABLEAU 9**  
**LES CONSOMMATIONS D'ENERGIE DU SECTEUR DES TRANSPORTS**

|                                               | 1975  | 1985  |       | 2000  |       |       |
|-----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                               |       | I     | II    | I     | II    | III   |
| Marchandises (10 <sup>9</sup> t/km)           | 150,8 | 193,7 | 217,8 | 398,1 | 429,9 | 331,6 |
| carburant (Mtep)                              | 7,11  | 9,02  | 9,52  | 19,0  | 17,54 | 12,33 |
| électricité (TWh)                             | 2,53  | 3,13  | 3,80  | 5,81  | 8,04  | 7,11  |
| Trafic interurbain (10 <sup>9</sup> pass./km) | 383,3 | 547,5 | 492,3 | 760,3 | 696,4 | 545,5 |
| carburant (Mtep)                              | 12,31 | 18,73 | 15,34 | 24,73 | 19,45 | 11,77 |
| électricité (TWh)                             | 1,66  | 1,58  | 1,90  | 2,12  | 2,50  | 4,63  |
| Trafic urbain                                 |       |       |       |       |       |       |
| carburant (Mtep)                              | 4,24  | 4,91  | 4,22  | 5,53  | 4,30  | 2,77  |
| électricité (TWh)                             | 1,99  | 1,96  | 2,32  | 2,30  | 2,84  | 2,78  |
| Divers (1)                                    |       |       |       |       |       |       |
| carburant (Mtep)                              | 6,74  | 9,0   | 8,0   | 15,0  | 10,0  | 7,0   |
| électricité (TWh)                             | 1,0   | 1,5   | 1,5   | 2,0   | 2,0   | 2,0   |
| Total carburant (Mtep)                        | 30,20 | 41,7  | 37,1  | 64,3  | 51,3  | 33,9  |
| Total électricité (TWh)                       | 7,18  | 8,2   | 9,5   | 12,2  | 15,4  | 16,5  |

(1) Les soutes, le carburacteur pour les transports internationaux et le gas-oil pour la pêche en ce qui concerne les carburants. Les télécommunications et autres transports en ce qui concerne l'électricité.

---

**NOTE SUR LES RESEAUX DE CHAUFFAGE URBAIN,  
LA GEOTHERMIE,  
LA PRODUCTION COMBINEE URBAINE  
ET LES REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS**

---

**Plan de la note :**

- Section 1 - Méthode de chiffrage du potentiel de développement des réseaux de chauffage urbain**
- Section 2 - Les arbitrages dans les approvisionnements en chaleur de ces réseaux**
- Section 3 - Evaluation de la géothermie**
- Section 4 - Evaluation de la production combinée urbaine**
- Section 5 - Note sur les effluents thermiques industriels (note rédigée par J.M. CHAUCHAT et LABBE, du CEREN)**

## INTRODUCTION

Rappelons que le problème posé est celui de déterminer, dans le cadre du scénario III à horizon 2000, quelles seraient les villes ou agglomérations susceptibles d'être raccordées, dans des conditions économiques acceptables, à un réseau de chaleur fournie par des sources de chaleur ad hoc.

Cette évaluation devrait reposer autant sur une approche micro-économique que sur une approche macro-économique, mais il est clair que pour une ville donnée, la première approche reste dominante. Dans le cadre du problème posé, c'est au contraire la seconde approche qui doit être privilégiée, tout en prenant en compte par un critère simple les dimensions et proportions spatiales propres à chacune des villes.

La section 1 exposera la démarche méthodologique adoptée pour résoudre ce problème ; la section 2 indiquera les arbitrages effectués entre sources concurrentes de chaleur urbaine.

On trouvera en section 3 et 4, respectivement, des informations plus spécifiques à la géothermie, puis à la production combinée urbaine.

## SECTION 1 - METHODE DE CHIFFRAGE DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX DE CHAUFFAGE URBAIN - 2000 SCENARIO III

Cette section a pour objet d'exposer les hypothèses méthodologiques adoptées pour évaluer, à l'horizon 2000 et dans le cadre du scénario III, *le potentiel* de développement des réseaux de chauffage urbain. Ceux-ci sont alimentés en chaleur (voir section suivante), soit par la géothermie, soit par la production combinée urbaine : les cas de l'alimentation éventuelle par de la cogénération industrielle ou par l'héliogéothermie ont été exclus ; par contre, celui de l'approvisionnement par des rejets thermiques industriels récupérés a été retenu.

On a subordonné l'évaluation de ce potentiel de développement à deux contraintes : — d'une part, une certaine densité minimale de consommation de chaleur en dessous de laquelle les besoins de chaleur basse température sont assurés par des techniques de chauffage central individuel ou collectif, mais au seul niveau d'un immeuble ;

— d'autre part, une certaine rigueur minimum de climat en deçà de laquelle les investissements en réseau de chauffage urbain ne semblent pas pouvoir se rentabiliser.

Ainsi, ont été exclus les ZEATMOD Sud-Ouest et Méditerranée.

Cette note propose une méthode d'évaluation de la consommation de chaleur, à horizon 2000, par catégorie de commune urbaine et par ZEATMOD.

Du fait des très grandes inégalités de densité d'occupation des sols et de taille entre communes-centres et communes de banlieue, l'unité géographique sur laquelle ont été fondées ces évaluations est la commune urbaine en non l'agglomération urbaine ou l'unité urbaine au sens de l'INSEE. Ceci n'a pas interdit, dans un stade ultérieur du raisonnement, la prise en compte du fait qu'une commune de banlieue peut avoir un réseau de CU (1) en dépit d'une densité de consommation calorifique faible (si celle-ci est contiguë d'une commune-centre ayant une densité suffisante).

(1) CU : chauffage urbain.

Mais le seuil minimum absolu de population a été fixé par hypothèse à 20 000 habitants. Dans ce qui suit, on a privilégié une des bases de discrimination de la consommation de chaleur entre les différentes villes (commune urbaine) : le chauffage des logements du secteur résidentiel.

On remarque en effet, notamment à la lecture des résultats du recensement 1975, qu'il existe, en moyenne, une relation étroite entre la taille des villes et la proportion respective des logements individuels et collectifs. Or, on sait que les logements collectifs ont occupé au m<sup>2</sup> une consommation spécifique de chaleur nettement inférieure à celle des logements individuels ; par contre, il existe une relation en sens inverse entre taille des villes et densité d'implantation des logements sur le territoire de la commune. Il n'a pas été possible de différencier les calculs des besoins de chaleur sur deux autres postes importants :

- 1° celui de l'eau chaude sanitaire et
- 2° celui du tertiaire.

Il est vraisemblable qu'il existe des relations de cause à effet entre taille et population des villes d'un côté, et surface du tertiaire de l'autre ; en l'état actuel de l'information disponible, une telle liaison était impossible à mettre en évidence pour l'année de référence, a fortiori pour l'année 2000.

Pour ces deux types de besoins (ECS et tertiaire), on a donc supposé une consommation en énergie utile, par habitant, identique pour toutes les communes urbaines d'une ZEATMOD donnée. Les données correspondantes sont celles qui ont été utilisées dans le modèle de simulation de la demande (voir chapitre 3 - section 3 + annexe 3 : Coefficients de MEDEE).

En adoptant cette démarche méthodologique, on prend en compte (dans l'évaluation de la consommation de chaleur) pour chacune des régions :

- un effet climat (pris en compte par le biais des degrés/jours moyens pondérés par régions) ;
- un effet structure du parc de logements (individuels/collectifs) variable selon la taille des villes ; ces catégories de villes étant elles-mêmes plus ou moins importantes selon les régions considérées.

Pour chaque région, outre les communes rurales, les communes urbaines ont été divisées en 4 tranches :

- 2 000 - 20 000 habitants : par hypothèse, elles sont exclues du réseau de CU ;
- 20 000 - 50 000 habitants : seules les communes de 50 000 habitants ayant un réseau de CU sont prises en compte.
- 50 000 - 100 000 habitants ;
- plus de 100 000 habitants.

Ces tranches ont été retenues de façon à être compatibles avec la répartition des villes utilisées dans MEDEE. A l'expérience, il s'avère que la tranche 50 000 - 100 000 est trop étroite, tandis que la tranche « plus de 100 000 » est sans doute trop hétérogène.

Pour chacune de ces tranches, on analyse le parc de résidences principales (et non de logements) pour l'année 1975, et notamment sa répartition entre résidences principales individuelles et résidences principales collectives ; puis on interpole, pour la même tranche de villes (par toute une série d'hypothèses, dont le détail est exposé dans l'organigramme présenté ci-dessous) la structure du parc de résidences principales pour l'année 2000. Le cadre général de ces hypothèses est fourni par les données régionales entrées dans le modèle.

Dans un deuxième temps, on suppose que chaque ville d'une tranche donnée a une structure de parc de RP (1) exactement identique à la moyenne de sa tranche : seul le niveau de population vient discriminer chaque ville. Disposant, par suite des travaux du SESAME, des évaluations de la population 2000 de chaque région, on suppose, par une hypothèse supplémentaire, que la structure par tranche d'une région donnée en 2000 est identique à celle de 1975. Cette hypothèse, très conservatrice en soi, est un peu plus admissible dans le cadre du scénario III.

---

(1) RP : résidence principale.

| <b>MODULES</b>                                    | <b>VARIABLES DE SCÉNARIO</b>                                                                                                                                                                                                                                          | <b>VARIABLES EXOGÈNES</b>                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EAU CHAUDE<br/>SANITAIRE</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Part des logements ayant l'EOS</li> <li>● Rendement moyen de combustibles</li> <li>● Taux de pénétration de l'électricité</li> <li>● Taux de pénétration du solaire</li> <li>● Consommation d'énergie utile/pers.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Part des besoins d'énergie utile couverte par le solaire</li> </ul>                                                                                                                                                                         |
| <b>CUISSON</b>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Rendement moyen des combustibles</li> <li>● Taux de pénétration de l'électricité</li> <li>● Consommation d'énergie utile/logement</li> </ul>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>TRANSPORTS<br/>PASSAGERS<br/>INTER URBAINS</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Mobilité longue distance</li> <li>● Part du trafic passager/avion–train–autocar</li> <li>● Taux de remplissage des avions, trains, autocars</li> </ul>                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Part du trafic ferroviaire par train électrique</li> <li>● Consommations unitaires <ul style="list-style-type: none"> <li>– voitures/km</li> <li>– trains/siège-km</li> <li>– autocars/km</li> <li>– avions/siège-km</li> </ul> </li> </ul> |
| <b>TRANSPORTS<br/>MARCHANDISES</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Valeur ajoutée des secteurs</li> <li>● Part du trafic <ul style="list-style-type: none"> <li>– route</li> <li>– rail</li> <li>– péniche</li> </ul> </li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Part du trafic ferroviaire par train électrique</li> <li>● Consommations unitaires <ul style="list-style-type: none"> <li>– camions/t-km</li> <li>– trains/t-km</li> <li>– péniches/t-km</li> </ul> </li> </ul>                             |
| <b>AGRICULTURE</b>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Valeur ajoutée de l'agriculture</li> <li>● Consommation unitaire/F</li> </ul>                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>BATIMENT</b>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Valeur ajoutée du BTP</li> <li>● Consommation unitaire/F</li> </ul>                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

## SECTION 2 - LES ARBITRAGES DANS LES APPROVISIONNEMENTS EN CHALEUR DE CES RESEAUX

Par hypothèse, deux seules sources de chaleur pourraient alimenter dans ce scénario III les réseaux de chauffage urbain :

- la chaleur géothermale,
- la chaleur provenant de la production combinée urbaine.

Trois cas pouvaient se présenter :

- 1<sup>er</sup> cas : villes où seule la pénétration de la géothermie est considérée comme possible.
- 2<sup>e</sup> cas : villes où seule la production combinée urbaine est considérée comme possible.
- 3<sup>e</sup> cas : villes où il y a concurrence possible entre géothermie et production combinée urbaine.

Les arbitrages ont été effectués dans chacun de ces cas en fonction de deux critères :

- taille de la ville, repérée par sa population ;
- densité de consommation de chaleur, définie comme étant le rapport entre sa consommation annuelle de chaleur (voir section 1) et la surface de la commune urbaine considérée.

Quatre classes de densité ont été définies\* :

- d0 : de 40 à 130 Kth/ha (1)
- d1 : de 130 à 200 Kth/ha
- d2 : de 200 à 260 Kth/ha
- d3 : supérieur à 260 Kth/ha.

Les villes ayant une densité inférieure à d0 ont été exclues de l'évaluation. Les villes où la production combinée pouvait être prise en compte doivent avoir une population supérieure à 50 000 habitants et une densité égale ou supérieure à d1. Les villes où la géothermie pouvait être prise en compte doivent avoir au moins 20 000 habitants et une densité au moins égale à d0.

Les règles suivantes d'arbitrage ont été retenues :

- si la densité de la ville est inférieure ou égale à d2, la géothermie a priorité sur la production combinée ;
- si la densité de la ville est supérieure ou égale à d3, la production combinée urbaine a priorité sur la géothermie.

La raison de ce choix a été de considérer qu'avec d0, d1, voire d2, les densités de consommation sont inférieures aux densités maximales de production de chaleur géothermale (prise en compte de la contrainte d'éloignement minimum des doublets de forage).

Une fois ces arbitrages effectués pour chaque ville entre production combinée, géothermie et inexistence d'un réseau de chaleur, il reste à passer du potentiel théorique à un potentiel plus réduit, mais sans doute plus réaliste. Il est difficile, en effet, de supposer que les consommations de chaleur des villes estimées être raccordables à un réseau de chauffage urbain sont satisfaites dans leur intégralité au moyen de cette forme d'énergie.

Pour évaluer ce potentiel réel, on a eu recours aux taux de raccordement au réseau. Ceux-ci n'ont été différenciés qu'en fonction de la densité de consommation : à ce niveau, donc, aucune discrimination n'a été faite parmi les sources de chaleur (géothermie ou production combinée urbaine) ; opérer autrement aurait supposé que l'on raisonne non pas au niveau d'une commune, mais à celui d'un quartier ou îlot de commune.

Les valeurs suivantes ont été adoptées :

- si d = d0, le taux de raccordement est de 20 %
- si d = d1, le taux de raccordement est de 35 %
- si d = d2, le taux de raccordement est de 55 %
- si d = d3, le taux de raccordement est de 70 %

(1) Kth : kilothermie ; ha : hectare.

Pour terminer l'exposé des choix effectués, il reste à préciser les conditions de raccordement des communes urbaines de la classe 20 000 - 50 000 à la production combinée. Deux conditions ont été retenues :

1° La commune doit être contiguë d'une commune de plus de 50 000 habitants ayant une densité égale ou supérieure à d2 ;

2° La densité de la commune doit aussi être égale ou supérieure à d2.

Ainsi, on a pu déterminer, pour chaque ville raccordable à un réseau de chauffage urbain, la quantité de chaleur qui pouvait être effectivement alimentée soit par la géothermie, soit par la production combinée urbaine.

### SECTION 3 - EVALUATION DE LA GEOTHERMIE

Dans les hypothèses retenues, la ressource géothermique prise en compte ne concerne que les nappes de température supérieure à 50°C et de transmissivité supérieure à 5, qui seules ont été étudiées à ce jour (1).

Elle se concentre dans les zones suivantes :

1. *Bassin Parisien*. Il s'agit essentiellement des nappes du dogger et du lusitanien à l'intérieur du périmètre Compiègne - Soissons - Epernay - Fontainebleau - Versailles - Nantes - Beauvais.

La prise en compte du Trias n'ajoute à ce bilan que deux villes importantes pouvant être raccordées, en l'occurrence Orléans et Verdun.

2. *Alsace*. Les ressources respectant les deux contraintes énoncées et situées à proximité de villes importantes étant toutes situées au nord de Strasbourg, on a prévu la possibilité de raccorder Haguenau, Schtiligheim et Strasbourg à la nappe du Trias inférieur.

3. *Rhône-Alpes*. Seule la ville de Bourg-en-Bresse offre à ce jour des chances de pouvoir être raccordée à une nappe respectant les contraintes énoncées.

4. *Sud-Ouest*. Malgré l'abondance des ressources, seules quatre villes offrent à ce jour une possibilité de raccordement dans les conditions indiquées, à savoir : Bergerac, Libourne, Mont-de-Marsan et Auch.

Pour chacune des villes identifiées comme pouvant accueillir un réseau de CU alimenté par la géothermie, on a estimé que seule la base de la fourniture de chaleur était couverte par la chaleur géothermale : cette base a été évaluée à 75 % de la chaleur totale distribuée. L'énergie d'appoint (sous forme de chaleur provenant de chaudières d'appoint fonctionnant avec des combustibles classiques) est donc de 25 %.

### SECTION 4 - EVALUATION DE LA PRODUCTION COMBINEE URBAINE

#### INTRODUCTION

Comme pour la géothermie, on suppose une fourniture de base provenant des équipements de production combinée urbaine de 75 % de l'énergie totale livrée. L'appoint (25 %) est supposé provenir de chaudières alimentées par des combustibles classiques. Avant d'indiquer quels ont été les choix effectués quant aux paramètres techniques, un problème de localisation doit être résolu préalablement.

En effet, on sait que plusieurs techniques de production combinée existent, chacune avec des caractéristiques propres de rendement et consommation spécifique.

(1) Cf. publications du BRGM

On a retenu parmi ces techniques deux d'entre elles :

- 1) les turbines à vapeur à contrepression dont les chaudières sont supposées être alimentées par du charbon national ou importé ;
- 2) les turbines à gaz à cycle combiné supposées être alimentées par le gaz naturel.

Du fait que ces deux techniques ont des rendements en chaleur et en électricité différents, il fallait, par une procédure sommaire, déterminer les villes susceptibles d'accueillir plutôt la technique 1, ou plutôt la technique 2.

En principe, la priorité a été donnée à la turbine à gaz du fait :

- 1° de l'existence d'un réseau très développé de gaz naturel ;
- 2° de l'investissement moins lourd que celui de la turbine à vapeur avec chaudière au charbon ;
- 3° de la faible pollution de cette technique de production.

Les exceptions ont été celles des villes satisfaisant deux contraintes :

- être située sur le littoral ou sur un fleuve important pour faciliter les transports de charbon ;
- offrir des tailles unitaires suffisamment importantes pour justifier le surcoût en investissement.

Ces arbitrages étant effectués, il reste à déterminer les paramètres techniques nécessaires à l'évaluation. La valeur de ces paramètres est présentée aux paragraphes A, B et C. Un récapitulatif par technique retenue est présenté dans le paragraphe D ; dans le paragraphe E, on indique le résultat national de la mise en œuvre de ces deux techniques dans les villes ayant un réseau de chauffage urbain en 2000 III.

Enfin, dans le paragraphe F, on donne le résultat final de cette évaluation par région, en y ajoutant la part des rejets thermiques qui alimente ces réseaux de chauffage urbain.

#### A - Turbines à vapeur et à contrepression

Exemple de paramètre technique. Source : Bourgeois (B.), Chateau (B.) « La récupération de la chaleur », p. 51.

Puissance électrique : 100 MWh

Puissance thermique : 240 MWth

Température de l'eau de départ entre 90 et 120°C

$n_1$  = rendement de combustible en chaleur = 0,574

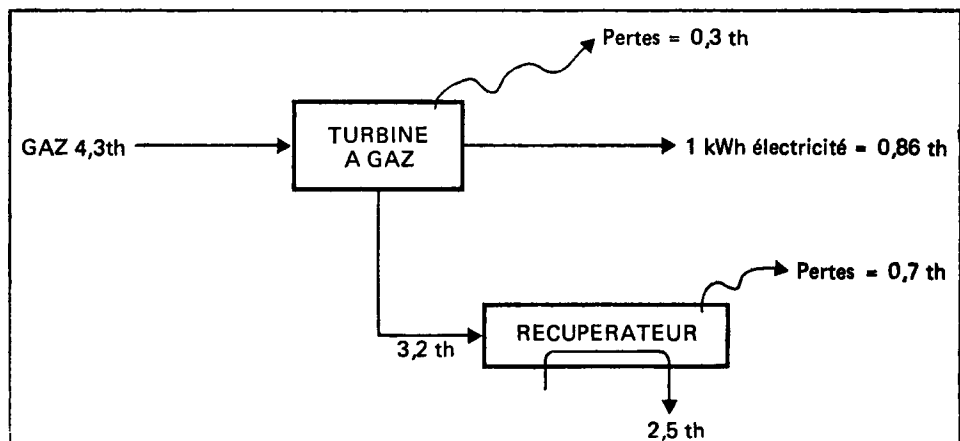
$n_2$  = rendement de combustible en électricité = 0,287

Rendement

global = 0,861

#### B - Turbines à gaz

Paramètre technique identique pour la cogénération industrielle avec hypothèses élevées compte tenu des puissances élevées :





$$\left. \begin{aligned} \text{d'où } \eta_1 &= \frac{2,5}{4,3} = 0,58 \\ \eta_2 &= \frac{0,86}{4,3} = 0,20 \end{aligned} \right\} \text{Rendement global} = \frac{2,5 + 0,86}{4,3} = 0,78$$

### C - Evaluation des économies en combustible selon les procédés

#### C1 - TURBINE A CONTREPRESSION ET CHAUDIERE CHARBON

Supposons qu'il y ait une Mtep de chaleur finale à fournir pour chauffer des logements.

— production combinée :

$$x \times \eta_1 = 1 \text{ Mtep} \quad x = \frac{1}{0,574} = 1,74 \text{ Mtep charbon}$$

ce qui permet de produire  $1,74 \times 0,287 = 0,499 \text{ Mtep} = 0,5 \text{ Mtep d'électricité}$

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 0,86 \text{ th} \\ 1 \text{ th} &= \frac{1}{0,86} \end{aligned} \right\} \rightarrow 0,5 \text{ Mtep d'électricité} = \frac{0,5 \times 10^{10}}{0,86} \text{ kWh} \\ = \frac{5}{0,86} 10^9 \text{ kWh} = 5,81 \text{ TWh}$$

— production séparée :

\* 5,81 TWh produits en centrale électrogène auraient nécessité :

$$\frac{5,81 \times 10^9 \times 0,86}{0,4} = 1,25 \text{ Mtep}$$

\* chaleur : 1 Mtep finale aurait nécessité pour un chauffage central au gaz 1,06 Mtep ( $1 \times 0,85$  divisé par 0,8).

Economie :  $1,25 + 1,06 - 1,74 = 0,57 \text{ Mtep}$ .

\* Si ce chauffage avait été électrique : 1 Mtep de chaleur aurait nécessité 2,5 Mtep de combustible en centrale.

Economie :  $1,25 + 2,5 - 1,74 = 2,01 \text{ Mtep}$ .

#### C2 - TURBINE A GAZ

Pour 1 Mtep de chaleur finale à fournir, on a par :

$$\text{— production combinée : } x \times \eta_1 = 1 \text{ Mtep} \quad x = \frac{1}{0,58} = 1,72 \text{ Mtep-gaz}$$

ce qui permet de produire  $1,72 \times 0,2 = 0,344 \text{ Mtep d'électricité}$  ;

$$\text{soit en TWh : } \frac{0,344 \times 10^{10}}{0,86} = 4 \text{ TWh.}$$

— production séparée :

\* 4 TWh produits en centrale électrogène auraient nécessité :

$$\frac{4 \times 10^9 \times 0,86}{0,4} = 8,6 \times 10^9 \text{ th} = 0,86 \text{ Mtep}$$

\* 1 Mtep aurait nécessité : 1,06 Mtep.

Economie :  $0,86 + 1,06 - 1,72 = 0,20 \text{ Mtep}$ .

Si le chauffage est électrique :

$0,86 + 2,5 - 1,72 = 1,64 \text{ Mtep}$ .

## D - Récapitulatif

|                                       | Chaleur produite (finale) | Energie primaire consommée en Mtep | Electricité fournie en tWh | Economie réalisée si chauffage locaux par combustible | Economie réalisée si chauffage locaux par électricité |
|---------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Turbine à vapeur et à contre-pression | 1 Mtep                    | 1,74 Mtep charbon                  | 5,81 tWh                   | 0,57 Mtep                                             | 2,01 Mtep                                             |
| Turbine à gaz                         | 1 Mtep                    | 1,72 Mtep gaz                      | 4 tWh                      | 0,20 Mtep                                             | 1,64 Mtep                                             |

## E - Résultat de la combinaison turbines à vapeur - turbines à gaz à cycle combiné dans le scénario III

| Chaleur produite finale en Mtep | Energie primaire consommée en Mtep | Electricité fournie en tWh |
|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 4,76                            | 8,20                               | 20,22                      |

## Section 5 :

### ENERGIE RECUPERABLE SUR LES EFFLUENTS THERMIQUES. ESSAI DE DETERMINATION DES DISPONIBILITES ET DES UTILISATIONS POTENTIELLES.

#### INTRODUCTION

Toute opération industrielle est, par l'intermédiaire des matériels mis en œuvre, utilisatrice d'un flux d'énergie qui sera dégradé sous forme d'énergie thermique, rejeté à une température dépendante des procédés utilisés mais aussi basse que possible. Les vecteurs qui assurent ces rejets constituent les effluents. Ils sont de nature diverses, solides, liquides ou gazeux, et sont généralement envoyés dans l'environnement naturel de l'établissement industriel soit directement dans l'air (cheminée, ventilation), soit dans le sol ou les cours d'eau, avec ou sans épuration.

Ils constituent la partie négative du bilan énergétique d'une installation et dépendent des divers rendements énergétiques liés à chacune des opérations industrielles, mettant en œuvre de l'énergie sous quelque forme que ce soit.

Il est donc extrêmement important, au plan des économies d'énergie, de tenter d'analyser quantitativement et qualitativement les effluents produits par l'industrie et d'étudier les solutions permettant de réduire les pertes ainsi mises en évidence.

Deux attitudes sont alors possibles :

— soit tenter de réduire « in situ », de façon plus ou moins drastique, par des procédés de récupération, d'amélioration de la gestion des matériels (capacités de production), de contrôle et de régulation des opérations, plus stricts, éventuellement par des modifications des « process », la quantité des effluents produits. On remarquera que cette voie est celle des économies classiques d'énergie, et qu'elle est limitée techniquement et économiquement, d'une part par les procédés de mise en œuvre, d'autre part par l'état du parc des matériels utilisés ;

— soit d'utiliser ces effluents à l'extérieur de l'établissement, ce qui implique qu'une demande potentielle compatible économiquement et techniquement avec les chaleurs récupérables soit mise en évidence à plus ou moins grande distance de l'émetteur.

Les deux approches peuvent être envisagées soit séparément, soit de façon conjointe. Alors que la première concerne seulement l'établissement considéré, la deuxième rend nécessaire qu'une vue d'ensemble de la production et de l'utilisation des effluents soit recherchée au niveau de chaque site industriel important.

Elle implique donc une analyse des divers établissements producteurs du site, avec en particulier la prise en compte de la modulation dans le temps de la production des effluents, mais également le recensement des utilisateurs (en général pour des besoins de chauffage) avec une analyse économique conduisant à la détermination d'un rayon maximal de distribution de chaleur et la définition d'une densité minimale du potentiel d'utilisation.

Le CEREN, à la demande de la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (DATAR) et dans le cadre d'une étude prospective réalisée par l'Institut Economique et Juridique de l'Energie (IEJE) de Grenoble, a procédé, dans la limite des informations disponibles, à ce type d'analyse, et a pu ainsi, d'une part, faire une estimation régionalisée pour l'année 1975 du potentiel d'effluents utilisables, d'autre part, en fonction d'un scénario économique global, évaluer ce que pourrait être ce même potentiel en l'an 2000.

## **METHODOLOGIE DE L'ETUDE**

### **DEFINITION DES EFFLUENTS RETENUS :**

L'ensemble des pertes thermiques liées à un flux de matière gazeuse ou liquide a seul été retenu. Ceci est justifié dans la mesure où les possibilités de récupération à des conditions économiques normales impliquent une densité suffisante du flux thermique. En particulier le rayonnement diffus des appareils, les pertes parlatées, les chaleurs sensibles perdues par les produits n'ont pas été pris en compte.

Dans le même souci d'efficacité, et compte tenu des technologies actuelles des échangeurs thermiques, nous n'avons pas retenu les effluents dont la température était inférieure à 50°C pour les liquides et 120°C pour les fumées et gaz. Compte tenu de l'importance des rejets des centrales thermiques, nous avons considéré qu'il s'agissait pour les rejets à basse température d'un problème spécifique, largement traité par ailleurs.

Enfin, seuls les rejets des établissements ayant une consommation d'énergie de plus de 500 tonnes Equivalent Pétrole/an (TEP) ont été pris en compte, afin de disposer de masses d'effluents significatives.

### **DEFINITION DES UTILISATIONS POTENTIELLES DES EFFLUENTS :**

L'utilisation privilégiée des chaleurs récupérées sur les rejets est constituée par le chauffage des locaux. Cependant, l'ensemble des usages thermiques à une température inférieure à 100°C a été retenu, pouvant donc impliquer certains usages industriels.

Ceci a conduit à ne retenir comme établissements industriels susceptibles de fournir des effluents utilisables que, d'une part ceux situés dans une agglomération de 100 000 habitants et plus, ceux d'autre part pouvant assurer seuls l'alimentation en chauffage d'un groupe de 100 logements et situés à proximité d'une ville d'au moins 25 000 habitants.

En ce qui concerne l'usage « chauffage des locaux », il est nécessaire de tenir compte des contraintes de modulation, l'offre étant relativement fixe, alors que la demande est fortement dépendante des aléas climatiques. Un coefficient multiplicateur de 1,7 est donc ainsi appliqué aux besoins réels d'énergie thermique pour déterminer le niveau nécessaire des effluents. Ceci conduit donc à minorer l'intérêt des rejets pour le seul chauffage des locaux et à envisager d'autres solutions (chauffage des serres..) qui sortent du cadre de cette étude.

Dans l'analyse des sites ainsi déterminés, et compte tenu de ce qui précède, les possibilités d'utilisation à l'intérieur des établissements producteurs d'effluents sont d'abord prises en compte, la demande pour le chauffage des locaux extérieurs (résidentiel et tertiaire) n'est satisfaite qu'en dernier.

Afin d'avoir un élément commode de comparaison entre offre et demande, l'ensemble des énergies thermiques contenues dans les effluents a été assimilé au même potentiel contenu dans de l'eau chaude à 90° C. Ceci correspond en effet au fluide thermique le plus susceptible d'utilisation pour les besoins de chauffage.

#### PROJECTION A L'AN 2000 :

On peut s'attendre à ce que d'ici à l'an 2000, l'essentiel des économies d'énergie porte sur la récupération, à l'intérieur des établissements industriels, des effluents thermiques : récupération des chaleurs sensibles des gaz, préchauffage, recyclage des fluides chauds, capacité accrue des échangeurs, utilisation des pompes à chaleur. etc. Ceci conduit à estimer qu'en l'an 2000 il n'y aura plus de rejet à température supérieure à 250° C pour les fumées de combustion, et à 120° C pour les autres rejets gazeux. De plus, une amélioration globale des rendements a été estimée égale à 6 %.

### PRINCIPAUX RESULTATS

#### I. — ESTIMATION PORTANT SUR L'ANNEE 1975

L'ensemble de l'énergie récupérable en eau chaude à 90° C sur effluents thermiques industriels équivalait, en 1975, à environ 5 millions de TEP, dont 3 millions étaient susceptibles d'utilisations par des tiers, compte tenu de leur localisation géographique.

L'analyse de ce potentiel énergétique montre les caractéristiques suivantes :

- cette énergie proviendrait surtout des récupérations sur fumées et gaz de combustion ;
- deux secteurs d'activité seulement sont à l'origine de près de 60 % de ces disponibilités : raffinage et production électrique pour respectivement 45 et 14 % ;
- 61 % des disponibilités totales sont situées dans ou à proximité des agglomérations de plus de 100 000 habitants.

Sur quatre sites enfin, en 1975, les disponibilités étaient excédentaires par rapport aux utilisations potentielles, il s'agit de Dunkerque, Valenciennes, Thionville et Hagondage-Briey.

Le tableau des enthalpies par secteur montre la forte concentration des effluents relative à certaines activités : les Raffineries représentent 45 % de l'énergie récupérable totale, les Centrales électriques 14 %, la Sidérurgie et les Cokeries 11 %, les 30 % restant sont le fait de l'industrie, hors sidérurgie et hors secteur énergie ; à l'intérieur de celle-ci, le Verre, la Chimie et les Industries mécaniques interviennent pour plus de la moitié.

Dans le tableau relatif aux disponibilités régionales, on retrouve une concentration importante, qui est d'ordre géographique ; on constate, en effet, que les disponibilités en énergie récupérable sur effluents situés à proximité de lieux d'utilisations potentielles représentent 32 Gth. Ainsi, 65 %\* (2/1) des disponibilités totales sont situées à proximité des agglomérations de plus de 100 000 habitants.

Cette concentration\* (2/1) varie entre 25 et 93 % selon les régions : Massif Central 25 %, Ouest 27 %, Est 52 %, Sud-Est 55 %, Bassin Parisien 58 %, Région Parisienne 64 %, Rhône-Alpes 74 %, Nord 83 %, Méditerranée 93 % (le chiffre très élevé pour cette dernière région tient au poids considérable de Marseille-Fos, qui a été considéré comme formant un même site).

Par ailleurs, l'analyse site par site fait apparaître que dans tous ceux-ci, à l'exception de Dunkerque, Valenciennes, Thionville et Hagondage-Briey, la demande représentée par les utilisations potentielles est supérieure à l'offre, c'est-à-dire aux disponibilités en énergie récupérable sur effluents.

On aurait, ainsi, plus de 90 % de l'énergie récupérable sur les sites qui trouverait à s'employer chez les utilisateurs d'énergie à basse température. Dans le tableau, cela se traduit par une égalité entre les chiffres des colonnes (2) et (3), c'est-à-dire entre les disponibilités retenues et utilisées, sauf dans le Nord et l'Est (cf. tableau n° 3).

\* Rapport retenue/totale, tableau n° 3.

TABLEAU n° 1  
ANNEE 1975  
ENTHALPIE DES EFFLUENTS

| REPARTITION PAR SECTEUR D'ACTIVITE |        |        |        |         |          |
|------------------------------------|--------|--------|--------|---------|----------|
| Mth                                | FGC**  | AIR    | EAU    | TOTAL   | (*)      |
| Indust. extractives                | 602    | —      | —      | 602     | (301)    |
| Prod. métaux non ferreux           | 714    | —      | —      | 714     | (381)    |
| Electro-métallurgie                | 441    | —      | —      | 441     | (242)    |
| Première transf. des métaux        | 1 776  | —      | 22     | 1 798   | (970)    |
| Ind. mécaniques et électriques     | 5 724  | 645    | 39     | 6 408   | (3 023)  |
| Ciments, plâtre, chaux             | 9 818  | —      | —      | 9 818   | (1 148)  |
| Céram., autres matér. de const.    | 1 994  | —      | 134    | 2 128   | (606)    |
| Verre                              | 3 493  | —      | —      | 3 493   | (2 399)  |
| Chimie (hors caoutchouc)           | 5 560  | 9 547  | 39     | 15 056  | (2 665)  |
| Textiles, cuirs, habillement       | 1 737  | 2 128  | 97     | 3 962   | (881)    |
| Caoutchouc                         | 305    | —      | 10     | 315     | (123)    |
| Papiers, cartons                   | 1 361  | 1 435  | —      | 2 796   | (593)    |
| Ind. alimentaires et agricoles     | 2 936  | 5 151  | 211    | 8 298   | (1 059)  |
| Autres Industries                  | 1 017  | 762    | 50     | 1 829   | (489)    |
| TOTAL                              | 37 478 | 19 578 | 602    | 57 658  | (14 880) |
| RAFFINERIE                         | 13 087 | —      | 13 088 | 26 175  | (21 810) |
| SIDERURGIE                         | —      | 3 817  | 1 644  | 5 461   | (2 937)  |
| ELECTRICITE                        | 23 401 | —      | —      | 23 401  | (7 019)  |
| COKERIES                           | —      | 2 289  | —      | 2 289   | (2 289 ) |
| TOTAL GENERAL                      | 73 966 | 25 684 | 15 334 | 114 984 | (48 900) |

\* Energie récupérable (eau chaude 90° C)  
\*\* FGC : Fumée et gaz de combustion.

TABLEAU n° 2

| REPARTITION PAR NIVEAU DE TEMPERATURE |        |        |        |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Mth                                   | FGC ** | AIR    | EAU    |
| TOTAL                                 | 73 966 | 25 684 | 15 334 |
| 50 - 90° C                            | —      | 8 639  | 15 334 |
| 90 - 120° C                           | 40 934 | 9 566  | —      |
| 120 - 200° C                          |        | 2 863  | —      |
| 200 - 500° C                          | 29 131 | 190    | —      |
| > 500° C                              | 3 901  | 4 696  |        |

TABLEAU n° 3

**EFFLUENTS THERMIQUES — ANNEE 1975**  
**(énergie récupérable en eau chaude à 90° C)**  
**DISPONIBILITES REGIONALES ET UTILISATIONS POTENTIELLES PAR SECTEURS**

|                   | DISPONIBILITES |                 |                  | CONSOMMATIONS SATISFAITES (4) |                    |                    |
|-------------------|----------------|-----------------|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
|                   | Totales<br>(1) | Retenues<br>(2) | Utilisées<br>(3) | Ensemble                      | dans l'ind.<br>(*) | dans le R T<br>(*) |
| Nord              | 7 393          | 6 172           | 4 735            | 3 273                         | 1 730              | 1 543              |
| Est               | 8 218          | 4 265           | 3 114            | 2 216                         | 1 303              | 913                |
| Ouest             | 2 810          | 750             | 750              | 583                           | 513                | 70                 |
| Bassin Parisien   | 11 050         | 6 414           | 6 414            | 4 922                         | 4 503              | 419                |
| Région Parisienne | 4 861          | 3 100           | 3 100            | 2 461                         | 2 123              | 338                |
| Sud-Ouest         | 3 636          | 1 996           | 1 996            | 1 386                         | 658                | 728                |
| Massif Central    | 419            | 103             | 103              | 86                            | 65                 | 21                 |
| Rhône-Alpes       | 3 177          | 2 340           | 2 340            | 1 905                         | 1 816              | 89                 |
| Méditerranée      | 7 370          | 6 874           | 6 874            | 5 617                         | 5 546              | 71                 |
| <b>TOTAL</b>      | <b>48 934</b>  | <b>32 014</b>   | <b>29 483</b>    | <b>22 449</b>                 | <b>18 257</b>      | <b>4 192</b>       |

(1) TOTALES : calculé sur l'ensemble des effluents thermiques Industriels de la région.

(2) RETENUES : en fonction de la proximité de lieux de consommation importants (agglomérations urbaines de plus de 100 000 habitants essentiellement).

(3) UTILISEES : tout ce qui est retenu (donc en agglomération) est utilisé sauf si, sur un site, les disponibilités sont excédentaires par rapport aux utilisations potentielles.

(4) CONSOMMATIONS SATISFAITES : au moyen des disponibilités utilisées compte tenu des pertes de modulation.

(\*) Ind. : Industrie.

R.T. : Résidentiel et Tertiaire

Compte tenu des contraintes de modulation, nous avons observé qu'il était nécessaire d'utiliser 29,5 Gth pour satisfaire 22,5 Gth de demande finale, soit un gaspillage de 24 % de l'énergie récupérée.

A ce calcul, on peut objecter que l'effet dû aux modulations peut être atténué en utilisant l'énergie récupérée, en base, les pointes étant assurées par un chauffage d'appoint.

Il faut remarquer toutefois que, même en base, il existe une certaine modulation (hiver-été) et que le calcul a été mené sans tenir compte du rendement de l'échangeur, ni des pertes de transport et de distribution.

Le rendement global obtenu de 76 % (22,5/29,5) ne semble donc pas sous-estimé. On constate également que la part de l'industrie dans les consommations satisfaites est très élevée (plus de 80 %), ce qui revient à dire que sur l'essentiel des sites l'industrie serait susceptible d'absorber toute l'énergie récupérable sur effluents. Dans trois régions, toutefois, cette part descend en dessous de 60 % : il s'agit du Nord et de l'Est d'une part, où cela est dû à la présence de sites à disponibilités globalement excédentaires, donc approvisionnant tous les besoins Résidentiel et Tertiaire, du Sud-Ouest d'autre part, où cela s'explique par la faiblesse de la demande industrielle sur les sites.

## II. — PROJECTION A L'HORIZON 2000

La projection 2000 repose sur deux faisceaux d'hypothèses concernant, l'un les évolutions de l'activité des secteurs industriels, l'autre les évolutions des taux d'émission d'effluents thermiques de ces secteurs ; ces deux faisceaux sont, par ailleurs, choisis pour être cohérents avec le cadre socio-économique d'un scénario d'ensemble qui a été défini par la DATAR et précisé, pour ce qui concerne l'énergie, par l'IEJE. Il se caractérise par un niveau de consommation d'énergie très conservatif.

TABLEAU n° 4

— AN 2000 —

### REPARTITION PAR SECTEUR DES DISPONIBILITES TOTALES D'ENERGIE RECUPERABLE SUR EFFLUENTS EN EAU CHAUDE A 90° C

Unité : Mth

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Raffinage             | 18 200 |
| Electricité           | 1 300  |
| Sidérurgie            | 1 700  |
| Cokéfaction           | 900    |
| I A A                 | 1 100  |
| Biens d'équipement    | 3 100  |
| Biens de consommation | 1 400  |
| Biens intermédiaires  | 12 000 |
| TOTAL                 | 39 700 |

## CONCLUSION

Il semble qu'une politique active de récupération d'énergie thermique sur effluents permettrait de récupérer 7 % de la consommation d'énergie du secteur industriel retenu.

Rappelons que nous ne nous sommes pas occupés des conditions économiques de récupération. Si ces conditions changeaient (forte hausse du prix de l'énergie), il est vraisemblable que les industriels investiraient dans la récupération d'énergie pour leur propre usage.

Deux facteurs peuvent jouer en faveur de la récupération d'énergie sur effluents pour satisfaire des besoins thermiques à basse température.

TABLEAU n° 5

## EFFLUENTS THERMIQUES — AN 2000

DISPONIBILITES REGIONALES ET UTILISATIONS PAR SECTEURS  
(énergie récupérable en eau chaude à 90° C)

Unité : Mth

| REGIONS           | DISPONIBILITES |                 |               |                 |                    | CONSOUMMATIONS SATISFAITES (4) |                 |                    |
|-------------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------|
|                   | totales<br>(1) | retenues<br>(2) | UTILISEES (3) |                 |                    | Ensemble                       | dans<br>l'Ind.* | dans le<br>R et T* |
|                   |                |                 | Ensemble      | dans<br>l'Ind.* | dans le<br>R et T* |                                |                 |                    |
| Nord              | 4 670          | 4 130           | 3 630         | 1 450           | 2 180              | 2 400                          | 1 120           | 1 280              |
| Est               | 6 710          | 3 770           | 3 770         | 2 570           | 1 200              | 2 670                          | 1 960           | 710                |
| Ouest             | 3 100          | 1 960           | 1 960         | 1 810           | 150                | 1 520                          | 1 420           | 100                |
| Bassin Parisien   | 10 370         | 8 110           | 8 110         | 7 610           | 500                | 6 310                          | 6 010           | 300                |
| Région Parisienne | 2 180          | 1 550           | 1 550         | 1 530           | 20                 | 1 110                          | 1 110           | 10                 |
| Sud-Ouest         | 3 130          | 1 290           | 1 290         | 990             | 300                | 980                            | 800             | 180                |
| Massif Central    | 450            | 100             | 100           | 70              | 30                 | 60                             | 40              | 20                 |
| Rhône-Alpes       | 2 780          | 1 930           | 1 930         | 1 820           | 110                | 1 400                          | 1 330           | 70                 |
| Méditerranée      | 6 270          | 5 380           | 5 380         | 5 150           | 230                | 4 170                          | 4 040           | 130                |
| <b>TOTAL</b>      | <b>39 660</b>  | <b>28 210</b>   | <b>27 710</b> | <b>22 990</b>   | <b>4 720</b>       | <b>20 610</b>                  | <b>17 810</b>   | <b>2 800</b>       |

(1) TOTALES : calculé sur l'ensemble des effluents thermiques Industriels des régions.

(2) RETENUES : en fonction de la proximité de lieux de consommation importants (agglomérations urbaines).

(3) UTILISEES : tout ce qui est retenu (donc en agglomération) est utilisé, sauf si sur un site les disponibilités sont excédentaires par rapport aux utilisations potentielles ; c'est le cas de Dunkerque.

(4) CONSOUMMATIONS SATISFAITES : elles sont inférieures aux quantités utilisées pour les satisfaire du fait des pertes dues à la modulation.

\* Ind. : Industrie.

R et T : Résidentiel et Tertiaire.

1) Le prix de l'électricité semble se stabiliser et même diminuer à long terme avec la mise en service des centrales nucléaires.

Ceci limite la possibilité d'investissements dans le but de produire de l'électricité avec des turbines à cycle de Rankine, qui constituent une des méthodes de récupération des effluents à température moyenne, laissant ainsi disponibles des effluents utilisables par ailleurs.

2) Certaines utilisations industrielles et l'ensemble des besoins du Résidentiel et Tertiaire ont lieu à basse température.

Il vaut mieux affecter les combustibles à l'obtention de températures élevées (> 200° C). Les besoins à basse température étant assurés par les effluents ainsi générés.

Une évolution dans ce sens améliorerait le rendement **exergétique** de l'utilisation de l'énergie au niveau national et serait source d'économie d'énergie dans la mesure où les contraintes de modulation ne seraient pas draconiennes. Une telle évolution serait également source de profit pour la communauté, dans la mesure où l'industriel ne supporterait pas seul les investissements correspondants.

Compte tenu des hypothèses retenues sur l'évolution du marché industriel de l'énergie, il semble que la quantité d'énergie récupérable sur effluents reste stable. L'analyse souligne les évolutions sectorielles et régionales envisagées.



Dans le cas de site complexe, compte tenu des contraintes décrites précédemment, il apparaît quasi-nécessaire que se constituent des organismes capables de gérer les effluents en provenance de différentes sources (offre), éventuellement de les stocker ou de les préparer afin de les rendre compatibles en vue de leur distribution, de leur substituer en cas de nécessité d'autres apports énergétiques, enfin capables d'assurer une distribution adaptées à la demande (réalisation de réseaux, sous-station, etc.).

---

**NOTE SUR LA COGENERATION INDUSTRIELLE**

---

**Plan de la note :**

- 1. Evaluation nationale**
- 2. Evaluation régionale**
- 3. Techniques de cogénération et consommations énergétiques**

## I. EVALUATION NATIONALE

### 1. LE PROBLEME DE LA PENETRATION DE LA COGENERATION INDUSTRIELLE

Ce problème relève autant d'une approche micro-économique que d'une approche macro-économique : selon les spécialistes, chaque cas est un cas particulier, bien que les anticipations de prix des combustibles et de l'électricité, déterminantes dans les décisions de cogénérer, s'expliquent mieux dans un environnement macro-économique. Il nous fallait donc choisir, dans ce scénario d'augmentation des prix du combustible et de l'électricité, des hypothèses relativement simples afin qu'elles puissent donner lieu à une régionalisation aisée.

Enfin, le niveau relativement agrégé de la méthode choisie s'explique aussi par le fait que nous n'avons pas, au niveau régional (région de programme) et au niveau des agglomérations urbaines, accès à des statistiques de consommation de chaleur et d'électricité pour l'industrie, alors que ces statistiques existent.

On a donc considéré *par hypothèse* qu'il était intéressant de faire de la cogénération industrielle dans 5 branches :

1. Raffinage - 2. Pâte à papier - 3. Textiles - 4. Chimie - 5. IAA.

On a ensuite admis, et ceci est la *deuxième hypothèse*, que la moitié de la consommation électrique de ces 5 branches serait cogénérée.

Ces deux hypothèses impliquent des options qui ne sont justifiables de manière rigoureuse qu'après de nombreux et longs calculs variables dans chaque cas de figure.

— La première hypothèse s'explique par le fait qu'en général les spécialistes considèrent ces 5 secteurs industriels comme présentant des caractéristiques d'appel en chaleur et en électricité suffisamment favorables pour justifier une cogénération. Pour tenir compte de l'existence de cas défavorables en pratique, on a retenu un taux moyen de pénétration de 50 %.

— La deuxième hypothèse consiste à prendre une option entre les deux branches de l'alternative suivante :

— soit générer plus d'électricité que les besoins propres en électricité de l'industrie concernée et vendre le surplus au réseau EDF ;

— soit générer moins d'électricité que les besoins propres en énergie électrique de l'industrie concernée et acheter l'appoint au réseau EDF.

Il ressort de notes de l'AEE (1) (notamment celle du 20 juin 1977) que la deuxième hypothèse se traduit, avec les systèmes de prix de l'époque, par une rentabilité supérieure à la première pour l'industriel ou par un délai d'amortissement de l'investissement pour la cogénération plus court. Comme ce critère est déterminant dans la décision de l'industriel, on donnera donc la préférence à la deuxième solution.

### 2. HYPOTHESES D'EVALUATION NATIONALE PAR SECTEUR

#### 1. Raffinage

En 1975, on consommait 3,77 TWh pour 109 millions de tonnes de brut raffiné. Les perspectives d'approvisionnement en brut pour 2000 III conduisent à envisager des importations de brut très voisines du chiffre 1975. On retiendra donc le même chiffre de 3,77 TWh pour 2000 III.

(1) AEE : Agence pour les Economies d'Energie.

$$\text{Auto-production 2000} = \frac{3,77}{2} = 1,89 \text{ TWh. Auto-production 1975} = 1,664 \text{ TWh.}$$

## 2. Pâte à papier

Ce secteur sera pris, par hypothèse, comme équivalent à celui de papier-bois-carton.  
Consommation d'électricité 1975 = 4,95 TWh.

Production d'électricité d'origine thermique par le secteur = 1,68 TWh.

En 1975, on peut estimer à 59,33 TWh la consommation d'électricité des industries de biens intermédiaires.

En 1975, la part du secteur papier-bois-carton dans ce total a été de

$$\frac{4,95}{59,33} = 0,0834 \text{ TWh.}$$

En 2000, on supposera que la part de l'électricité de ce secteur représente la même proportion dans la consommation d'électricité des industries de biens intermédiaires (2000 III) que celle observée en 1973, soit :

$$123,24 \text{ TWh (1)} \times 0,0834 = 10,28 \text{ TWh}$$

dont la moitié serait cogénérée, soit : **5,14 TWh.**

## 3. Chimie et parachimie

En 1975, la consommation du secteur a été de 19,3 TWh ; pour la même année, l'électricité produite d'origine thermique par ce secteur a été de 2,84 TWh.

En 1975, la part de la chimie dans le total des industries de biens intermédiaires a été de :

$$\frac{19,3}{59,33} = 0,3252 \text{ TWh.}$$

En 2000, on supposera que ce rapport est constant, d'où consommation d'électricité de la chimie-parachimie = 123,24 (1)  $\times$  0,3252 = 40,08 TWh.

La moitié serait cogénérée, soit : **20,04 TWh.**

## 4. Textiles

En 1975, le secteur du textile-cuir-habillement consommait 4,5 TWh ; la même année, l'électricité auto-produite était de 0,42 TWh.

En 1975, les consommations d'électricité du secteur des industries de biens de consommation s'élevaient à 7,8 TWh.

$$\text{La part du textile-cuir-habillement dans ce secteur était de } \frac{4,5}{7,8} = 0,5769 \text{ TWh.}$$

On supposera qu'en 2000 cette part n'est plus que de 40 %.

Consommation d'électricité dans les industries de biens de consommation en 2000 : 16,99  $\approx$  17 TWh (voir annexe à cette note),  
soit 17  $\times$  0,4 = 6,8 TWh.

La moitié serait cogénérée :

$$\frac{6,8}{2} = 3,4 \text{ TWh.}$$

## 5. IAA

En 1975, les IAA ont consommé 5,46 TWh.

(1) Total de la consommation électrique du secteur des biens intermédiaires (voir annexe à cette note).

La même année, l'électricité autoproduite a été de 0,69 TWh.  
 En 2000, la consommation d'électricité est donnée directement par le modèle (voir annexe), soit : 10,62 TWh  
 La moitié serait cogénérée, soit : **5,31 TWh.**

**6. Part de l'échantillon dans l'électricité produite dans les centrales thermiques industrielles en 1975**

|                              | Raffinage + | Pâte à papier + | Chimie + | Textile + | IAA   | = Echantillon |
|------------------------------|-------------|-----------------|----------|-----------|-------|---------------|
| Energie produite (TWh)       | 1 664 +     | 1,68 +          | 2,84 +   | 0,42 +    | 0,69  | = 7 294       |
| Puissance installée (MW)     | 443 +       | 517 +           | 746 +    | 196 +     | 494   | = 2 396       |
| Durée d'utilisation (heures) | 3 756       | 3 250           | 3 807    | 2 143     | 1 400 | 3 044         |

|                              | Echantillon | Total national des centrales thermiques indust. | Part de l'échantillon |
|------------------------------|-------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Energie produite (TWh)       | 7,294       | 9,31                                            | 78,3 %                |
| Puissance industrielle (MW)  | 2 396       | 2 707                                           | 88,5 %                |
| Durée d'utilisation (heures) | 3 044       | 3 439                                           |                       |

Part de l'électricité cogénérée dans le total des consommations haute tension en 1975 :

$$\frac{7,294}{113,625} = 6,4 \, \%.$$

**7. Récapitulatif national 2000 III**

| Unité : TWh   | Consommation d'électricité de l'échantillon en 2000 | Electricité cogénérée |
|---------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| Raffinage     | 3,77                                                | 1,89                  |
| Papier-carton | 10,28                                               | 5,14                  |
| Chimie        | 40,08                                               | 20,04                 |
| Textile       | 6,8                                                 | 3,4                   |
| IAA           | 10,62                                               | 5,31                  |
| TOTAL         | 71,55                                               | 35,78                 |

Part de l'électricité cogénérée dans le total des consommations électriques de l'industrie 2000 scénario III :

$$\frac{35,78}{184,3} = 19,41 \, \%.$$

II. EVALUATION REGIONALE

Pour deux des cinq secteurs, la ventilation régionale est soit déjà effectuée (cas des IAA), soit pratiquement faite (cas des raffineries).

Pour les trois autres secteurs, force sera de recourir à des hypothèses de ventilation régionale de structure identique à celle observée en 1975.

2.1. CAS DES IAA ET DES RAFFINERIES

2.1.1. IAA

Les résultats sont donnés directement par MEDEE.

| Unité : TWh       | I A A   | Electricité cogénérée |
|-------------------|---------|-----------------------|
| Région Parisienne | 0.7872  | 0.394                 |
| Bassin Parisien   | 2.911   | 1.455                 |
| Nord              | 1.3908  | 0.695                 |
| Est               | 0.8325  | 0.416                 |
| Ouest             | 2.5689  | 1.285                 |
| Sud-Ouest         | 0.6495  | 0.325                 |
| Massif Central    | 0.1926  | 0.096                 |
| Rhône-Alpes       | 0.4358  | 0.218                 |
| Méditerranée      | 0.8531  | 0.426                 |
| TOTAL             | 10.6214 | 5.31                  |

2.1.2. Cas du raffinage

La note sur les raffineries, effectuée pour fournir des données nécessaires à l'évaluation des rejets thermiques provenant du raffinage, est réutilisée ici.

La note indique quelle serait, avec les hypothèses indiquées, la ventilation régionale du parc de raffinage ; on suppose que la capacité installée par région a un facteur de charge égal à celui de la moyenne du parc, soit :

$$\frac{102}{123,8} = 82,4 \text{ \%}.$$

On supposera ensuite que le traitement du brut entraîne une consommation d'électricité proportionnelle à son volume. La moitié de cette électricité est supposée être cogénérée.

|                   | Capacité<br>Installée<br>10 <sup>6</sup> T | Brut traité<br>10 <sup>6</sup> T | Consom-<br>mation<br>d'électricité<br>TWh | Electricité<br>cogénérée<br>TWh |
|-------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| Région Parisienne | 6                                          | 4,94                             | 0,183                                     | 0,091                           |
| Bassin Parisien   | 42,1                                       | 34,7                             | 1,28                                      | 0,64                            |
| Nord              | 14,5                                       | 11,95                            | 0,44                                      | 0,22                            |
| Est               | 9,7                                        | 7,99                             | 0,295                                     | 0,148                           |
| Ouest             | 8,3                                        | 6,84                             | 0,253                                     | 0,126                           |
| Sud-Ouest         | 6,9                                        | 5,68                             | 0,21                                      | 0,105                           |
| Massif Central    | 0                                          | 0                                | 0                                         | 0                               |
| Rhône-Alpes       | 8,8                                        | 7,25                             | 0,268                                     | 0,134                           |
| Méditerranée      | 27,5                                       | 22,66                            | 0,841                                     | 0,42                            |
| <b>TOTAL</b>      | <b>123,8</b>                               | <b>102</b>                       | <b>3,77</b>                               | <b>1,884</b>                    |

## 2.2. CAS DU TEXTILE, PAPIER CARTON ET CHIMIE

### 2.2.1. Cas du textile

La méthode suivante sera adoptée.

- 1) à partir des statistiques de la DIGELEC (1), on calculera la structure régionale de la consommation d'énergie électrique du textile ;
- 2) connaissant pour 2000 la consommation d'électricité du textile au niveau national, on ventilera cette consommation selon la même clef de répartition qu'en 1975.

| Unité : TWh       | Textile 1975 | Textile 2000 | Electricité<br>cogénérée<br>Textile 2000 |
|-------------------|--------------|--------------|------------------------------------------|
| Région Parisienne | 0,139        | 0,21         | 0,11                                     |
| Bassin Parisien   | 0,681        | 1,02         | 0,51                                     |
| Nord              | 1,18         | 1,77         | 0,88                                     |
| Est               | 0,959        | 1,44         | 0,72                                     |
| Ouest             | 0,184        | 0,28         | 0,14                                     |
| Sud-Ouest         | 0,239        | 0,36         | 0,18                                     |
| Massif Central    | 0,069        | 0,10         | 0,05                                     |
| Rhône-Alpes       | 1,025        | 1,54         | 0,77                                     |
| Méditerranée      | 0,053        | 0,08         | 0,04                                     |
| <b>TOTAL</b>      | <b>4,5</b>   | <b>6,8</b>   | <b>3,4</b>                               |

(1) Direction Générale de l'Electricité.

## 2.2.2. Cas du papier carton et chimie

Deux méthodes de ventilation régionale de l'énergie électrique consommée peuvent être imaginées :

### METHODE 1 :

Méthode identique à celle utilisée dans le cas du textile.

1) calcul de la structure régionale de la consommation d'énergie électrique en 1975 du secteur papier-carton et de la chimie ;

2) connaissant le niveau national de la consommation d'électricité de ces deux mêmes secteurs en 2000, on retiendra cette consommation selon la même clef de répartition qu'en 1975

### METHODE 2 :

On estime que la répartition des industries du papier-carton et de la chimie doit suivre prioritairement celle des industries de biens intermédiaires calculée par MEDEE scénario III. On prend alors comme hypothèse que la contribution régionale de deux industries concernées peut s'évaluer à partir de la multiplication des consommations d'électricité du secteur des industries de biens intermédiaires de la part nationale en pourcentage des deux industries sur le total des industries de biens intermédiaires.

Les deux calculs ont été effectués dans les tableaux suivants pour faire apparaître les différences régionales ; il a semblé que la deuxième méthode offrait des résultats plus conformes aux cohérences du scénario III que la première. Dans la suite de l'évaluation et de la construction des bilans énergétiques 2000 III, la première méthode a été exclue.

## 2.2.3. Récapitulatif régional électricité industrielle cogénérée 2000 s3

| Unité : TWh       | I A A | Raffinage | Textile | Papier-carton<br>Chimie | Total<br>méthode 1 | Total<br>méthode 2 |
|-------------------|-------|-----------|---------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| Région Parisienne | 0,394 | 0,091     | 0,21    | 1,19                    | 1,885              | 1,54               |
| Bassin Parisien   | 1,455 | 0,64      | 1,02    | 3,93                    | 7,045              | 6,56               |
| Nord              | 0,695 | 0,22      | 1,77    | 2,59                    | 5,275              | 5,10               |
| Est               | 0,416 | 0,148     | 1,44    | 3,7                     | 5,704              | 6,21               |
| Ouest             | 1,285 | 0,126     | 0,28    | 1,2                     | 2,891              | 3,07               |
| Sud-Ouest         | 0,325 | 0,105     | 0,36    | 2,91                    | 3,700              | 5,52               |
| Massif Central    | 0,096 | 0         | 0,10    | 0,78                    | 0,976              | 0,90               |
| Rhône-Alpes       | 0,218 | 0,134     | 1,54    | 6,07                    | 7,962              | 5,46               |
| Méditerranée      | 0,426 | 0,42      | 0,08    | 2,81                    | 3,736              | 4,82               |
| FRANCE            | 5,31  | 1,884     | 6,8     | 25,18                   | 39,174             | 39,18              |



|                   | Chimie 1975 | Papier-carton<br>1975 | METHODE 1            |                                                 |                                           | METHODE 2                                                       |                               |
|-------------------|-------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|                   |             |                       | Part de la<br>région | Electr. 2000<br>de la chimie<br>+ papier-carton | Elec. cogénérée<br>pour ces<br>2 secteurs | Electricité 2000<br>consommée<br>par chimie<br>et papier-carton | Electricité 2000<br>cogénérée |
| Région Parisienne | 0,817       | 0,329                 | 0,04703              | 2,37                                            | 1,19                                      | 1,68                                                            | 0,84                          |
| Bassin Parisien   | 2,887       | 0,923                 | 0,15636              | 7,87                                            | 3,93                                      | 6,88                                                            | 3,44                          |
| Nord              | 1,743       | 0,763                 | 0,10284              | 5,18                                            | 2,59                                      | 4,82                                                            | 2,41                          |
| Est               | 3,031       | 0,552                 | 0,14704              | 7,40                                            | 3,7                                       | 8,43                                                            | 4,21                          |
| Ouest             | 0,762       | 0,399                 | 0,04764              | 2,40                                            | 1,2                                       | 2,76                                                            | 1,38                          |
| Sud-Ouest         | 1,827       | 0,993                 | 0,11573              | 5,83                                            | 2,91                                      | 9,46                                                            | 4,73                          |
| Massif Central    | 0,527       | 0,230                 | 0,03106              | 1,56                                            | 0,78                                      | 1,40                                                            | 0,7                           |
| Rhône-Alpes       | 5,191       | 0,678                 | 0,24086              | 12,13                                           | 6,07                                      | 7,13                                                            | 3,57                          |
| Méditerranée      | 2,501       | 0,213                 | 0,11138              | 5,61                                            | 2,81                                      | 7,79                                                            | 3,89                          |
| TOTAL             | 19,287      | 5,08                  | 100                  | 50,35                                           | 25,18                                     | 50,35                                                           | 25,17                         |

## ANNEXES A LA DEUXIEME SECTION

### — Prévillon de consommation d'énergie électrique pour les quatre sous-secteurs Industriels

| 2000 s3           |         |                    |         |         |         |
|-------------------|---------|--------------------|---------|---------|---------|
| Unité : TWh       | INTERM. | EQUIP <sup>t</sup> | CONS.   | I A A   | INDUST. |
| Région Parisienne | 4,122   | 4,6932             | 0,8671  | 0,7872  | 10,47   |
| Bassin Parisien   | 16,8449 | 7,849              | 3,0951  | 2,911   | 30,7    |
| Nord              | 11,7939 | 2,9755             | 2,2098  | 1,3908  | 18,37   |
| Est               | 20,6231 | 5,3468             | 3,4277  | 0,8325  | 30,23   |
| Ouest             | 6,7461  | 4,9063             | 1,5886  | 2,5689  | 15,81   |
| Sud-Ouest         | 23,1429 | 1,9757             | 1,562   | 0,6495  | 27,33   |
| Massif Central    | 3,432   | 0,8768             | 0,3786  | 0,1926  | 4,88    |
| Rhône-Alpes       | 17,4581 | 3,6539             | 2,9822  | 0,4358  | 24,53   |
| Méditerranée      | 19,0769 | 1,162              | 0,8881  | 0,8531  | 21,98   |
| TOTAL             | 123,24  | 33,439             | 16,9992 | 10 6214 | 184,3   |

### — Statistiques de consommation d'électricité en 1975 par ZEATMOD pour la chimie et le papier carton

| Unité : TWh       | Chimie | Papier-carton |
|-------------------|--------|---------------|
| Région Parisienne | 0,817  | 0,329         |
| Bassin Parisien   | 2,887  | 0,923         |
| Nord              | 1,743  | 0,763         |
| Est               | 3,031  | 0,552         |
| Ouest             | 0,762  | 0,399         |
| Sud-Ouest         | 1,827  | 0,993         |
| Massif Central    | 0,527  | 0,230         |
| Rhône-Alpes       | 5,191  | 0,678         |
| Méditerranée      | 2,501  | 0,213         |
| TOTAL             | 19,287 | 5,080         |

### III. LES TECHNIQUES DE COGENERATION INDUSTRIELLE ET LEURS CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

#### 3.1. INTRODUCTION

Les contraintes du chiffrage de la cogénération industrielle entraînées par l'approche macro-économique et régionalisée retenue, nous ont conduit à une démarche très éloignée de celle pratiquée par l'industriel.

- a) Fixation de la consommation d'électricité dans les 5 secteurs concernés
- b) Fixation de la part de l'électricité cogénérée.
- c) Choix entre technique de cogénération par turbines à gaz ou par turbines à vapeur.
- d) Choix entre turbines à gaz et moteur diesel à gaz.

Dans cette introduction, on indiquera l'hypothèse supplémentaire qui a été faite entre turbine à vapeur et chaudière à combustible d'une part, et turbines ou moteurs à gaz d'autre part. On fera l'hypothèse simplificatrice que les industriels opteront pour la deuxième solution plutôt que pour la première, dans la mesure où les premiers équipements impliquent des surinvestissements plus élevés que ceux entraînés par les seconds : donc, à prix d'énergie donné, par des temps de récupération plus longs.

Cette hypothèse brutale est cependant nécessaire pour ne pas trop compliquer la procédure d'évaluation. Elle implique donc que toute la cogénération industrielle se fera à partir du gaz naturel. Ce choix n'est pas strictement conforme à l'esprit du scénario III puisque les turbines à vapeur à contrepression ont un rendement supérieur à celle des turbines à moteurs à gaz ; deux handicaps existent avec cette famille de technique pour les industriels :

- d'une part, le handicap déjà signalé, de la moins bonne rentabilité économique ;
- d'autre part, le fait que les turbines à vapeur à contrepression offrent en général un rapport  $\frac{\text{Puissance calorifique récupérée}}{\text{Puissance mécanique fournie}}$  trop élevé par rapport à la moyenne des

rapports  $\frac{\text{Puissance calorifique demandée}}{\text{Puissance mécanique demandée}}$

Dans la famille des techniques de cogénération à partir du gaz (turbine à vapeur exclue), deux filières restent possibles :

- \* turbines à gaz
- \* moteur diesel à gaz

toutes deux avec récupération de la chaleur.

#### 3.2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES TURBINES ET MOTEURS THERMIQUES A GAZ

On reprendra ici les informations tirées d'un article récent sur ce sujet, écrit par M. F. Rey (GDF) dans « Chaud Froid Plomberie » n° 337, décembre 1977, pages 45 à 55.

Deux grandes familles de techniques dominent :

A - Les turbines à gaz (de 300 KW à 100 MW et plus)

- \* rendement mécanique de 18 à 25 % ; moyenne = 22 %
- \* gaz d'échappement : température de l'ordre de 450° C ; représente près de 70 % de l'énergie consommée. On n'en récupère qu'une partie.
- \* le rendement global serait de l'ordre de 70 %.
- M1 = rendement du combustible en électricité = 0,22 (consommation spécifique : 3,91 KWh par KWh élec.).
- M2 = rendement du combustible en chaleur = 0,48 à 0,51 (on ne récupère que de 70 à 75 % de la chaleur contenue dans les gaz d'échappement).
- M3 = rendement global = 0,70 à 0,73.
- \* durée de vie : supérieure à 100 000 h.
- \* évaluation des économies en énergie primaire :

deux schémas sont en concurrence,

| Cas 1                                                                                                                                                                                                                                          | Cas 2                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>* l'électricité consommée est produite dans des centrales thermiques : rendement 0,4.</li><li>* la chaleur (vapeur, eau surchauffée) est produite dans des chaudières de rendement égal à 0,8.</li></ul> | <p>Turbine à gaz :</p> <p>rendement de production de l'élec. : 0,22<br/>rendement de product. de la chaleur : 0,5</p> <p>Bilan variable selon les cas : de 20 à 25 % des consommations de combustible qui auraient été nécessaires en chaudière simple.</p> |

B - Moteurs alternatifs

Ce sont des moteurs diesel transformés en vue de l'utilisation du gaz.

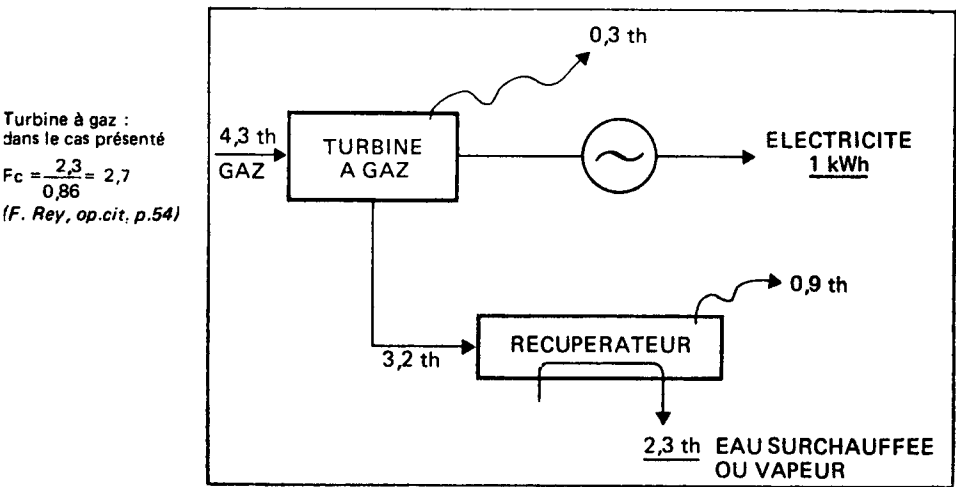
- injection nécessaire de carburant : 5 à 8 % au minimum, variable si nécessaire
- durée de vie : au moins 100 000 h.
- gamme de puissance : de 100 KW à 5 MW
- rendement mécanique-électrique : de 30 à 38 %
- température des gaz d'échappement : 500° C
- rendement global : de 70 à 75 %
- consommation spécifique moyenne : 2,7 th/KWh (M1 = 32 %)
- rendement de récupération de chaleur sur énergie entrante M2 : 45 %.

\* évaluation des économies en énergie primaire :

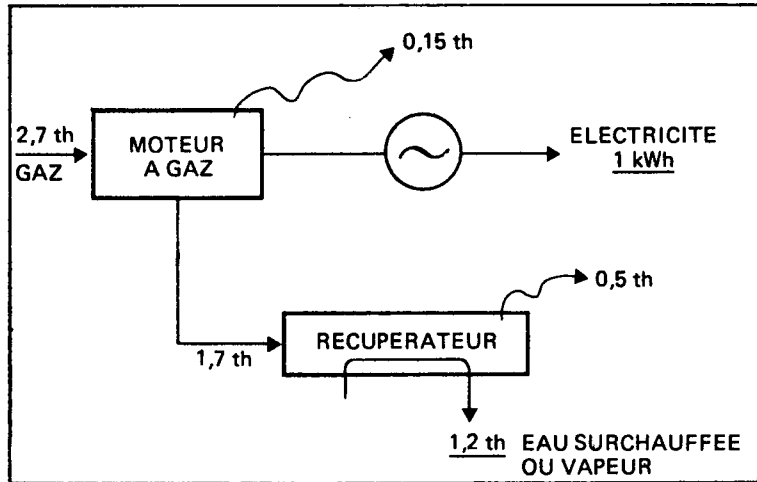
| Cas 1                                                                                                                                                                                                                                       | Cas 2                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>* l'électricité consommée est produite dans des centrales thermiques. Rendement : 0,4</li><li>* la chaleur vapeur eau surchauffée est produite dans des chaudières de rendement égale à 0,8</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>* moteurs diesel</li><li>* rendement électrique : 0,32 (consommation spécifique 2,7 KWh/th par KWh)</li><li>* rendement chaleur : 0,45.</li></ul> <p>Bilan variable selon les cas : 25 à 30 %.</p> |

C - Comparaison des 2 technologies : paramètres moyens retenus

| Rapport $F_c$ = $\frac{\text{Puissance calorifique récupérée}}{\text{Puissance mécanique fournie}}$ | Turbine à gaz | Diesel            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|
|                                                                                                     | $2 < F_c < 3$ | $1,1 < F_c < 1,4$ |



Diesel :  
dans le cas présenté  
 $F_c = \frac{1,2}{0,86} = 1,4$   
(F. Rey, op.cit, p.54)



### 3.3. HYPOTHESES SUR LE PARC DE COGENERATION INDUSTRIELLE

Dans la réalité, il y aura autant de configurations techniques particulières qu'il y aura de cas de demande de chaleur et de demande d'électricité variable en niveau absolu et en proportion.

Pour le problème qui nous est posé, on a été obligé de faire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices dont la principale est de supposer que la moitié de l'électricité consommée par cinq secteurs est cogénérée.

Etant donné l'existence de ces deux grandes techniques de production (contrepression exclue) de chaleur-force, une hypothèse est nécessaire pour fixer la proportion d'électricité générée par les turbines à gaz et celle d'électricité produite par les diesels.

On supposera donc, pour simplifier, que ces deux techniques de cogénération interviennent à *égalité* pour la production d'électricité industrielle cogénérée pour la France entière et par ZEATMOD.

D'où les calculs et le tableau suivants.

|                                                |   |                                   |                    |
|------------------------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------|
| 39,174<br>(Total cogénération<br>industrielle) | { | 19,6 TWh = $19,6 \times 10^9$ KWh | TG (turbine à gaz) |
|                                                |   | 19,6 TWh = $19,6 \times 10^9$ KWh | Diesel             |

#### 1) Turbine à gaz :

$$19,6 \times 10^9 \times 4,3 = 84,28 \times 10^9 \text{ th de gaz cogénéré pour les TG (1)}$$

$$= 8,43 \text{ Mtep gaz}$$

chaleur fournie : pour 1 KWh = 2,3 th, soit  $19,6 \times 10^9 \times 2,3 = 4,5 \text{ Mtep chaleur}$ .

Cas où cette chaleur et cette électricité auraient été fournies séparément :

— Consommation pour fabrication d'électricité :

$$19,6 \times 10^9 \times \frac{1}{0,4} \times 0,861 = 42,2 \times 10^9 \text{ th}$$

$$= 4,22 \text{ Mtep combustibles fissiles ou fossiles}$$

— Consommation pour fabrication de chaleur :  $\frac{4,5}{0,8} = 5,63 \text{ Mtep}$

— évaluation de l'économie en énergie primaire :

$$4,22 + 5,63 - 8,43 = 1,42 \text{ Mtep}$$

(1) Turbine à gaz.

**2) Diesel :**

$19,6 \times 10^9 \times 2,7 = 52,92 \times 10^9 \text{ th} \approx 5,3 \text{ Mtep énergie primaire gaz}$

chaleur fournie :  $1,2 \times 19,6 \times 10^9 = 23,52 \times 10^9 \text{ th} = 2,35 \text{ Mtep}$

Cas où cette chaleur et cette électricité auraient été fournies séparément :

— Consommation pour fabrication d'électricité :

$19,6 \times 10^9 \times \frac{1}{0,8} \times 0,861 = 4,22 \text{ Mtep combustibles fissiles ou fossiles}$

— évaluation de l'économie en énergie primaire :

$4,22 + 2,94 - 5,3 = 1,86 \approx 1,9 \text{ Mtep}$

**3) Combinaison des deux techniques :**

|                                | corresp.<br>Electricité<br>produite | Energie<br>primaire gaz<br>consommée | Chaleur<br>fourine (utile)<br>en équ. comb. | Economle<br>nette en comb.<br>primaires |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| TG                             | 19,6 TWh                            | 8,43 Mtep                            | 4,5 Mtep                                    | 1,42 Mtep                               |
| Diesel                         | 19,6 TWh                            | 5,3 Mtep                             | 2,35 Mtep                                   | 1,9 Mtep                                |
| Total cogénér.<br>Industrielle | 39,2 TWh                            | 13,73 Mtep                           | 6,85 Mtep                                   | 3,32 Mtep                               |
| Ratio global                   | 1 TWh                               | 0,35 Mtep                            | 0,175 Mtep                                  | 0,085 Mtep                              |

---

**LE POTENTIEL ENERGETIQUE DE L'A BIOMASSE**

---

**SOMMAIRE**

|                                                             | <b>Pages</b> |
|-------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Chapitre 1. Les filières énergétiques de la biomasse</b> | <b>183</b>   |
| 1) Déchets végétaux de faible humidité                      | 183          |
| 2) Déchets végétaux et animaux de forte humidité            | 186          |
| 3) Exploitation forestière et déchets du bois               | 187          |
| 4) Déchets industriels                                      | 188          |
| <b>Chapitre 2. Potentiel de biomasse utilisable</b>         | <b>190</b>   |
| 1) Déchets végétaux et animaux de faible humidité           | 191          |
| 2) Déchets végétaux et animaux de forte humidité            | 198          |
| 3) Exploitation des taillis et déchets du bois              | 202          |
| 4) Déchets industriels organiques                           | 205          |
| <b>Chapitre 3. Potentiel énergétique utilisable</b>         | <b>207</b>   |

L'exploitation énergétique de la biomasse ne représente plus qu'une faible part de son volume antérieur, soit 3 millions de m<sup>3</sup> de bois représentant 0,7 Mtep (1), contre 2 Mtep il y a encore une quinzaine d'années (2). Elle ne représente qu'une part encore plus infime de la ressource mobilisable à moyen terme avec la récupération des déchets de l'agriculture et de l'élevage, puis l'exploitation plus systématique de la forêt, soit seulement le centième du potentiel existant. A plus long terme, il pourrait même être envisagé un développement des plantations directement énergétiques avec de nouvelles variétés de taillis à faible durée de rotation.

Néanmoins, les particularités de cette ressource la rendent difficilement mobilisable dans l'immédiat. Son utilisation se heurte à des contraintes et des incertitudes dont il ne sera possible de s'affranchir que progressivement et moyennant un véritable programme de développement. Ces conditions sont essentiellement au nombre de trois :

#### — LA MAITRISE TECHNOLOGIQUE

La biomasse est généralement peu intéressante à exploiter sous sa forme initiale, sa valorisation énergétique suppose une transformation préalable, physique ou chimique, ainsi qu'une adaptation des installations de chauffage. De nombreuses filières sont envisageables, mais elles sont inégalement connues et surtout expérimentées. De ce fait, elles présentent des incertitudes qui gênent les prises de décision et les arbitrages.

#### — L'ORGANISATION DE LA COLLECTE

Les déchets agricoles et forestiers abandonnés ou brûlés sur place sont le plus souvent dispersés sur des espaces très morcelés, vu la structure de la propriété qui caractérise la France. La collecte de ces déchets ne peut donc être envisagée dans des conditions économiques acceptables sans la mise en place d'une organisation plus large (coopératives, concessions à des entreprises spécialisées, etc.) et d'un parc de machines adapté.

#### — L'ARBITRAGE ENTRE UTILISATIONS ALTERNATIVES

La plupart des déchets organiques se prêtent non seulement à des réutilisations énergétiques, mais aussi à des réutilisations dans les filières industrielles (matériau), l'alimentation animale et les cycles naturels (reconstitution des sols). Ces réutilisations ont d'ailleurs le plus souvent une incidence énergétique favorable en évitant des consommations énergétiques intermédiaires.

En l'état actuel des recherches et des investigations, il est exclu de pouvoir déterminer l'offre qui pourra être disponible par régions à différents horizons, l'examen des deux dernières conditions en pouvant être mené utilement qu'à un niveau spatial beaucoup plus fin équivalent au canton, à la région agricole ou au massif forestier.

L'ambition de cette note est plus limitée. Elle vise trois objectifs :

1° *définir des catégories de biomasse disponibles d'ici 2000* en fonction des filières susceptibles d'être mises en œuvre et cerner les caractéristiques de ces filières (performances, coûts, incertitudes, contraintes de mise en œuvre) dans la mesure des informations disponibles.

(1) D'après l'étude « Consommations énergétiques du secteur résidentiel et tertiaire ». Années 1973-1977 de l'Agence pour les Economies d'Energie.

(2) D'après J. Le Ray : « La Forêt Française » - Notes et Etudes Documentaires.



— définition du *potentiel utilisable*. C'est la part du potentiel théorique qui subsiste compte tenu de diverses contraintes spatiales et des contraintes de renouvellement des sols.

3° *définir un potentiel énergétique* à partir du potentiel de biomasse utilisable, des filières adoptées et de leur rendement de mise en œuvre.

2° *définir un potentiel de ressources* pour chacune de ces catégories de biomasse.

Compte tenu de divers niveaux de contraintes existantes, ce potentiel doit être défini en plusieurs étapes successives :

— définition du *gisement*. Il s'agit de la ressource physique brute ;

— définition du *potentiel théorique*. Ce potentiel représente la part du gisement qui n'est pas préaffectée à diverses utilisations économiques autres qu'énergétiques ;

## LES FILIERES ENERGETIQUES DE LA BIOMASSE

La valorisation énergétique des déchets agricoles suppose la mise au point de techniques de récolte, de stockage et de transformation adaptées à chaque type de déchets. Les plantations proprement énergétiques nécessiteront elles aussi des recherches spécifiques (génétique, agronomie) et la mise au point de techniques à leur échelle. Toutefois, il semble exclu qu'elles puissent constituer, pour la France, une ressource significative avant 2000 : la réflexion, et a fortiori les données, sont encore trop spéculatives pour être abordées ici.

Quant à l'utilisation des déchets existants, elle fait actuellement l'objet d'un programme de recherche financé par la DGRST : le programme VEDA (Valorisation Energétique des Déchets Agricoles) (1) consacré notamment à l'étude de quatre grandes filières de transformation énergétique :

— *la combustion* : il s'agit notamment de définir la meilleure présentation (granulats, méthanol, déchets bruts) pour l'alimentation automatique des chaudières selon leur puissance.

L'étude de cette filière est confiée au Centre National d'Etude et d'Expérimentation de Machinisme Agricole (CNEEMA).

— *La pyrolyse* : Ce procédé de carbonisation à l'abri de l'air permet d'obtenir trois sous-produits :

— du charbon sous forme de graphite relativement pur,

— un gaz pauvre (CO et H<sub>2</sub> en particulier)

— des jus pyroligneux (eau, méthanol, acide acétique et diverses autres fractions).

L'étude de cette filière est confiée au CNRS (Orléans et Nancy), au CTFT et à l'INRA, en collaboration avec l'Ecole des Mines.

— *la méthanisation* : On étudie actuellement la fermentation du fumier dans des digesteurs installés par l'INRA à Jouy. Ce procédé permet d'obtenir un gaz riche en méthane et un compost organique pour l'agriculture.

— *la production d'alcool* est envisagée à plus longue échéance, que ce soit la voie éthanol à partir de l'hydrolyse de sous-produits de culture et de leur fermentation, ou la voie méthanol dont on ferait la synthèse à partir d'un mélange gazeux (CO - H<sub>2</sub>) produit par une pyrolyse à haute température (projet CNRS).

Cette dernière filière est d'un moindre intérêt énergétique que les précédentes, sinon pour produire spécifiquement des carburants, comme l'envisage le plan alcool brésilien.

Outre l'amélioration des performances de ces différentes filières, les recherches en cours visent à définir l'échelle optimum de mise en œuvre, compte tenu des conditions de collecte et des modalités d'utilisation de l'énergie produite.

Quant à l'opportunité du choix de telle ou telle filière, il y a lieu d'envisager quatre types de biomasse successivement, à savoir :

— les déchets végétaux de faible humidité,

— les déchets végétaux et animaux de forte humidité,

— l'exploitation des taillis et les déchets des industries du bois,

— les déchets industriels.

### I. DECHETS VEGETAUX DE FAIBLE HUMIDITE

#### 1.1. DEFINITION

On peut ranger dans cette catégorie tous les déchets dont le taux d'humidité est ou peut-être ramené aisément en dessous de 20 %. Il s'agit essentiellement des pailles de céréales et d'oléagineux, des sarments de vigne et — sous réserve d'un séchage préalable — de certains déchets de maïs (rafles et spathes).

(1) « La Bioconversion », In numéro spécial sur les énergies nouvelles de la revue des élèves de l'Ecole des Mines de Paris - P.A. JAYET, 1978.

## 1.2. FILIERE

Ces déchets s'accommodent de toutes les filières énoncées précédemment, la fermentation nécessitant seulement une forte dilution préalable dans l'eau. Ils conviennent a priori aux deux filières combustion et pyrolyse. Un choix s'avère donc nécessaire compte tenu des conséquences différentes de chacune de ces filières, tant du point de vue énergétique que de ses effets indirects.

En effet, des essais de laboratoire du CNEEMA indiquent qu'il est possible d'obtenir 4 000 thermies par combustion d'une tonne de paille à 15 % d'eau. Ce rendement est certainement supérieur à celui de la pyrolyse, même si l'on dispose de peu de données à ce sujet, car la réaction de pyrolyse fortement exothermique entraîne une déperdition d'énergie de plus de 40 % du pouvoir calorifique initial. Il est environ le double de celui obtenu par méthanisation. Du point de vue énergétique, l'avantage de la combustion est donc incontestable.

En contrepartie, la combustion — comme la pyrolyse — a l'inconvénient majeur de détruire la matière organique nécessaire à la reconstitution des sols. Seules peuvent être récupérées les cendres riches en P, K, Ca, Mg sans lesquelles un apport d'engrais serait nécessaire. La fermentation restitue, au contraire, tous les éléments fertilisants, notamment ceux nécessaires à la reconstitution de l'humus.

Compte tenu de ces avantages et inconvénients relatifs, nous avons retenu la filière « combustion » dans l'évaluation du potentiel énergétique utilisable, et ce, en tenant compte des trois considérations suivantes :

— La paille est une ressource très dispersée : il est donc peu intéressant de la récolter pour en tirer un parti énergétique médiocre par fermentation ou pyrolyse, sauf en cas d'utilisation sur place ;

— L'alimentation en continu des cuves de fermentation méthanique n'est pas encore expérimentée et ne semble pas pouvoir être développée avant cinq ans au moins, alors que des chaudières à paille sont d'ores et déjà disponibles ;

— La reconstitution des sols peut être assurée en ne récoltant que la partie des déchets produits qui n'est pas indispensable, quitte à recourir ultérieurement à la fermentation pour l'autre.

## 1.3. COMBUSTION

En ce qui concerne l'incinération proprement dite, des progrès peuvent encore être obtenus. Selon M. Maës (1), « plusieurs procédés sont en expérimentation : par insufflation d'air sur les balles de paille, par broyage préalable des pailles et pulvérisation par un brûleur conventionnel, enfin par brûlage des gaz et pyrolyse oxydative qui permet d'accrocher une belle flamme, stable et chaude ».

Un des objets de la recherche consiste à définir la meilleure alimentation automatique des chaudières en fonction de la puissance. En dessous de 1 000 à 2 000 th/h, une alimentation automatique sous forme de granulats ou méthanol semble la meilleure solution. Au-dessus, une alimentation automatique par la paille non transformée paraît préférable.

## 1.4. RECOLTE

La récolte des déchets végétaux (pailles notamment) offre quant à elle de sérieuses difficultés techniques et économiques, sans compter les variations de production liées aux aléas climatiques ou aux habitudes des céréaliculteurs (on coupe le blé d'autant plus haut que la demande en paille est faible) :

(1) APAVE, Tome 8, n° 198, mai-juin 77 - pp. 47-61.

— *Le ramassage* est limité à une période de 3 à 5 semaines au plus et l'expérience ne permet pas d'envisager des chantiers dépassant 3 500 à 4 000 T de paille pour une campagne de cette durée (1). De toute manière, le choix d'un système de manutention est extrêmement complexe. De nombreux facteurs interviennent en fonction des conditions locales et des exploitations agricoles (2) :

- \* disponibilité en bâtiments
- \* disponibilité en main-d'œuvre
- \* topographie et surfaces
- \* temps disponible pour récoltes
- \* matériels existants
- \* utilisation ultérieure des pailles.

— *Le transport* est quant à lui limité en distance, les techniques de récolte actuellement disponibles étant basées sur une densité moyenne des balles (82 kg/m<sup>3</sup>), cela conduit à une très mauvaise utilisation des véhicules de transport (camions et wagons). On peut envisager de fabriquer des machines ramenant les balles de paille à une densité quatre fois supérieure, mais elles ne sont pas encore disponibles actuellement.

## 1.5. COUT

Du fait de la diversité des situations locales, il n'est pas possible de parler *du* coût de la récolte de la paille ou de déchets de végétaux analogues. De par les conventions que supposerait une imputation des coûts de production de produits liés, il n'est pas non plus possible de parler de coût en soi pour une entreprise qui utilise accessoirement son matériel et sa main-d'œuvre pour effectuer ces travaux. D'où la notion de « prix seuil » utilisée dans une étude INRA qui ne concerne que les surcoûts directement liés à la récolte des pailles (équipements spécifiques et travail supplémentaires) (3) :

— en cas de récoltes assurées par une entreprise extérieure, ces prix seuils peuvent varier de 70 à 120 F/T selon le type de chantier et la durée des amortissements ;

— en cas de récoltes assurées par l'exploitation agricole elle-même, les prix seuils peuvent varier de 35 à 100 F/T selon le type d'exploitation et l'équipement disponible.

Ces conditions très variables expliquent que, dans une région donnée, l'offre de paille varie notablement selon le prix proposé (de 25 à 75 % de la paille disponible dans le département de l'Aube en 1978 selon que le prix est de 30 ou 65 F la tonne).

L'utilisation de la paille étant beaucoup plus étalée dans le temps que ne l'est la récolte, son stockage est une nécessité. L'étude de l'INRA situe ce coût, avec utilisation de bâches plastiques, entre 1 et 1,5 F/T, en tenant compte des pertes de paille et des intérêts intercalaires au taux de 10 %. Les coûts de transport incluent tous un coût de chargement (7 à 10 F/T) et le transport lui-même peut représenter de 4 à 10 F/T/10 km.

Finalement, avec les hypothèses retenues dans l'étude citée, on parvient aux coûts minima suivants (1977) pour une distance donnée (sans coût de stockage) :

| Distance de livraison<br>en km | Coûts de collecte<br>en F/T |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 20                             | 97                          |
| 40                             | 118                         |
| 80                             | 145                         |
| 120                            | 167                         |
| 200                            | 212                         |

A noter que, selon chacune de ces distances, les techniques de collectes (volume et forme des balles notamment) optima se trouvent être différentes.

(1) « Problèmes agronomiques posés par la récupération des résidus de récolte » - J. Boyeldieu. Salon International de la Machine Agricole, 8 mars 1977.

(2) Les pailles de céréales ITCF et APRIA - juillet 76.

(3) « Aspects économiques de la collecte de paille » - J.-C. Sourle.  
(Les prix indiqués sont ceux de l'étude INRA, janvier 77).

## II. DECHETS VEGETAUX ET ANIMAUX DE FORTE HUMIDITE

### 2.1. DEFINITION

Cette catégorie concerne tous les déchets végétaux (tiges et feuilles de maïs, feuilles et collets de betteraves notamment) et les déjections animales (y compris pailles de fumier) dont le taux d'humidité ne peut être ramené en dessous de 20 % sans un long séchage.

### 2.2. FILIERES

Le taux d'humidité limite le champ des filières disponibles aux divers types de fermentation. Si l'on exclut l'hydrolyse acide, peu intéressante sur le plan énergétique dans les conditions actuelles, deux types de fermentation sont envisageables :

#### — la fermentation aérobie :

C'est celle qui se produit naturellement dans les dépôts de fumier. La possibilité de récupérer de l'énergie est faible. En revanche, elle est souvent rentable, car il suffit de disposer un serpentín dans la masse en fermentation pour réchauffer de l'eau à usage sanitaire par exemple.

#### — la fermentation anaérobie :

Elle permet de récupérer environ la moitié du potentiel énergétique des déchets sous forme d'un gaz contenant près de 60 % de méthane et pour le reste essentiellement du CO<sub>2</sub>.

Le compost résultant de la fermentation est, quant à lui, entièrement récupérable pour l'épandage sur les terres agricoles avec une valeur fertilisante égale, sinon supérieure (car plus rapidement assimilable par le sol) aux déchets d'origine. C'est donc une filière qui s'impose incontestablement pour les déchets humides.

### 2.3. BIOMETHANE

Cette filière a fait l'objet de nombreuses réalisations, en France et en Allemagne, dans les années 40 à 55 (1), qui toutes ont été abandonnées en raison des aléas et des contraintes d'exploitation offerts. En fait, les rendements observés et la durée de fermentation varient énormément selon les conditions climatiques (l'optimum de la température se situant dans l'intervalle 33° - 38° C) ou technologiques de la composition des substrats et des sémences bactériennes préexistantes. Une exploitation empirique des cuves de fermentation (« digesteurs ») donne des résultats incertains et demande des volumes importants par thermie produite, car les réactions peuvent être très lentes. C'est ce qui explique la désaffection des agriculteurs pour cette technique après la fin de la période de pénurie énergétique.

C'est aussi pourquoi l'INRA a entrepris, dans le cadre du programme VDA, de définir des règles d'exploitation des digesteurs plus méthodiques et reposant sur des bases scientifiques. La définition de ces règles s'appuie sur diverses recherches biochimiques, microbiologiques et technologiques. Elles doivent donner lieu prochainement à une première publication concernant l'exploitation par chargement discontinu des digesteurs. En fonction des résultats obtenus, on peut estimer à 0,35 - 0,40 m<sup>3</sup> le volume du gaz qui peut être obtenu par kg de matière sèche contenue dans les effluents d'élevage, chaque m<sup>3</sup> contenant 5,5 thermies sous forme de méthane, ce qui représente deux à trois fois le rendement obtenu dans des conditions empiriques.

(1) Production et utilisations du gaz de fumier - Méthane biologique.  
Huu Bang DAO - CNEEMA - bulletin septembre 74.

Toutefois, des améliorations peuvent encore être obtenues quant à la vitesse des réactions biochimiques (1 m3 de cuve produit environ 1 m3 de gaz par jour), ce qui permettrait de diminuer les volumes des cuves de fermentation, donc les investissements initiaux.

Par ailleurs, l'INRA envisage un nouveau programme de recherche visant l'exploitation en continu des cuves de fermentation. En effet, le fonctionnement par chargement discontinu conduit à une production de gaz non constante (courbe en cloche) préjudiciable à son utilisation, sauf à installer des batteries de cuves dont les courbes de production décalées les unes par rapport aux autres permettent globalement une production régulière.

Ce fonctionnement en continu nécessite cependant un broyage préalable des pailles et autres déchets végétaux ainsi qu'une forte dilution (10 % de matière sèche au maximum). La mise au point de ce procédé peut demander plusieurs années.

En cas d'utilisation immédiate pour les besoins de chauffage (qui coïncident heureusement dans le temps avec les périodes de stabulation du bétail), le gaz obtenu ne nécessite pas de traitement particulier : il peut éventuellement transiter par un gazogène. En revanche, si l'on envisage un stockage ou une utilisation comme carburant pour les machines agricoles, il doit être débarrassé du CO<sub>2</sub> par lavage à l'eau froide puis comprimé en bouteille. Ce qui nécessite des volumes d'eau importants et des installations particulières.

## **2.4. COUT**

Il serait aujourd'hui très aléatoire d'avancer des estimations économiques des investissements nécessaires. Seules des expérimentations permettront de situer les coûts de cette filière.

# **III. EXPLOITATION FORESTIERE ET DECHETS DU BOIS**

## **3.1. DEFINITION**

Cette catégorie comprend d'une part les déchets de l'industrie du bois (sciure, délinures, etc.) ou de son exploitation forestière (écorces, houppiers), d'autre part l'exploitation des taillis pour des usages purement énergétiques.

## **3.2. FILIERES**

La faible humidité (15 à 35 %) de cette ressource la désigne comme les autres déchets végétaux pour la combustion directe, mais aussi, si l'on veut réduire les coûts de transport, pour la pyrolyse à proximité des lieux d'exploitation en forêt (1).

## **3.3. COMBUSTION**

La combustion est l'une des plus anciennes technologies du bois. Toutefois, des améliorations lui sont encore apportées :

— pour la combustion elle-même. Des constructeurs ont mis au point des chaudières à flammes renversées (2) qui ont une combustion régulière entre deux chargements successifs, donc un très bon rendement de combustion (73 % environ) et de ce fait un très bon rendement de chauffage.

(1) Il faut néanmoins plusieurs mois de séchage pour abaisser le taux d'humidité en dessous de 30 % car il atteint près de 50 % lors de la coupe.

(2) « Le chauffage au bois - Solution d'hier - Solution de demain ».

F. Bella - In Chauffage Ventilation Conditionnement 3.1978.

Par ailleurs, des recherches sont effectuées pour mettre au point des installations à *chargement automatique*, le bois étant préalablement transformé en copeaux pour des chaudières de puissance inférieure à 1 000 - 2 000 th/h.

— La pyrolyse (gazogène) fait elle aussi l'objet d'un programme de recherche. Elle permet de récupérer l'énergie (50 % du PCI (1) initial environ) sous forme de charbon de bois dont le PCI élevé (6 000 à 8 000 th/T) permet un transport et un stockage plus commode que celui du bois brut. Mais il est pour l'instant prématuré d'avancer des estimations précises quant aux rendements de cette transformation énergétique.

### 3.4. COUT

La possibilité d'utiliser des installations de combustion ou de pyrolyse de plus ou moins grande importance, jointe à celle des possibilités de transport, stockage et transformation en copeaux, permet d'obtenir une production énergétique du bois dans des contextes d'utilisation très divers (échelle, distance, mode d'organisation, etc.). Les coûts sont naturellement impossibles à préciser compte tenu de cette diversité des situations possibles, et ce, d'autant plus que la pyrolyse ne fait pas encore l'objet d'expérimentation en vraie grandeur.

## IV. DECHETS INDUSTRIELS

Bien que cette note soit consacrée à la biomasse, l'examen des déchets industriels a été élargi par commodité à celui des déchets organiques d'origine fossile comme les caoutchoucs synthétiques.

### 4.1. DEFINITION

En dehors des déchets des industries du bois mentionnés ci-dessus, peu de déchets proprement industriels offrent un intérêt énergétique, leur récupération sous forme de matière première étant plus intéressante et plus rationnelle dans de nombreux cas. Par ailleurs, certains déchets à fort contenu énergétique, tels que les matières plastiques, ne peuvent être utilisés en raison des problèmes de corrosion et de pollution non maîtrisés (production d'HCL notamment).

Pour l'instant, deux types de déchets paraissent avoir un réel intérêt énergétique. Il s'agit d'une part des caoutchoucs et pneumatiques, d'autre part des déchets des industries agricoles et alimentaires (2). Un inventaire par régions des déchets industriels mené pour le compte de l'ANRED est en cours d'achèvement.

### 4.2. LES CAOUTCHOUCS ET PNEUMATIQUES (2) et (3)

Ces déchets relèvent de deux filières :

— *l'incinération*, qui est considérée comme la meilleure solution, n'est pas encore maîtrisée, compte tenu notamment de la difficulté à séparer le caoutchouc des armatures métalliques des pneumatiques. Pour l'instant, on a recours au cryobroyage, ou plus classiquement au cisailage, mais aucune expérimentation n'a encore été développée à grande échelle.

Le PCI du caoutchouc est très élevé, 8 000 Kcal/kg environ, soit beaucoup plus que les autres déchets en général. Il serait donc préférable de procéder à l'incinération

(1) PCI : Pouvoir calorifique inférieur ou quantité de chaleur dégagée par la combustion complète, l'eau produite n'étant pas recondensée.

(2) Cf. Colloque de l'AEE sur la valorisation énergétique des déchets industriels (octobre 77).

(3) Cf. Récupération des caoutchoucs et pneumatiques - OTAM 1973.

dans des installations spécifiques. L'OTAM indiquait en 1973 des coûts de 35 F/T pour le broyage et 50 F/T pour l'incinération. Une des difficultés reste cependant d'évaluer le coût de la collecte, très lié à la taille des installations envisagées.

— la *pyrolyse* est elle aussi envisageable, bien que moins intéressante sur le plan proprement énergétique. Aucune recherche n'a, semble-t-il, été menée en France à ce sujet.

#### **4.3. LES DECHETS AGRO-ALIMENTAIRES**

Ces déchets relèvent pour leur part de la fermentation méthanique. Celle-ci n'est cependant pas envisageable tant que deux types de recherches n'auront pas été menées, les unes concernant la maîtrise des réactions biochimiques pour chaque type de déchets (les populations bactériennes et le substrat organique peuvent conduire à des vitesses de réaction très différentes selon leur nature), les autres concernant la mise au point de l'exploitation en continu des digesteurs.



## POTENTIEL DE BIOMASSE UTILISABLE

Compte tenu des remarques initiales, la définition du potentiel de biomasse utilisable suppose la définition préalable du gisement, puis du potentiel théorique dont le potentiel utilisable n'est qu'une partie.

La définition préalable du gisement relève de l'inventaire, c'est-à-dire de la méthode statistique. Un groupe de travail de l'INRA en propose une évaluation que nous reproduisons ci-après (1). Des remarques peuvent y être apportées en distinguant les types de biomasse que nous avons retenus au départ :

— *déchets végétaux et animaux* des deux catégories d'humidité. Le gisement est peu susceptible d'évoluer même si le produit agricole final doit continuer à augmenter. En effet, les progrès génétiques ou l'amélioration des méthodes d'élevage ou de culture conduisent à une diminution relative des déchets par unité de production agricole. Par ailleurs, l'écart entre le gisement et le potentiel utilisable est tel qu'il paraît illusoire de vouloir préciser une évolution sensible du gisement futur.

Les estimations du groupe INRA reposent sur les statistiques du Ministère de l'Agriculture (SCEES).

— *exploitation des taillis et déchets du bois*. L'estimation du gisements des déchets du bois est quant à elle conforme à un récent inventaire du Centre Technique du Bois. En toute rigueur, le gisement total du bois est représenté par la production moyenne annuelle de la biomasse sous forme de bois, soit 50 millions de m<sup>3</sup>/an selon J. Le Ray (2).

— *déchets industriels*. Le groupe INRA ne considère que certaines IAA. L'évaluation exhaustive du gisement devrait inclure aussi d'autres IAA telles que les sucreries ou les industries des fruits et légumes.

### Bilan des ressources.

|                                                                    | Gisement<br>de matière sèche<br>(millions de tonnes)<br>MT | Humidité<br>(pourcentage)<br>% |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>EXPLOITATIONS AGRICOLES</b>                                     |                                                            |                                |
| Céréales      paille (y compris<br>(7,66 Mha)    paille de fumier) | 21                                                         | 15 - 20                        |
| Maïs            tiges, rafles, etc.<br>(1,6 Mha)                   | 6,8                                                        | 35 - 70                        |
| Betteraves    feuilles, collets<br>(0,59 Mha)                      | 2,9                                                        | 85 - 88                        |
| Oléagineux    paille<br>(0,31 Mha)                                 | 2,9                                                        | 12 - 20                        |
| Vignes        sarments<br>(1,3 Mha)                                | 2,6                                                        | 25                             |
| Elevage       déjections<br>paille de fumier                       | 15,8<br>13 (1)                                             | 75 à 97<br>15 - 20             |
| <b>Total Exploitations agricoles</b>                               | <b>36,2</b>                                                |                                |

(1) D'après une note interne de P. Chartier. INRA du 4.7.78 intitulée : « Production agricole et forestière - Valorisation des sous-produits - Identification des besoins en recherche ».

(2) « La Forêt Française » - Notes et études documentaires.

|                                                 |          |         |
|-------------------------------------------------|----------|---------|
| FORET (2)                                       |          |         |
| Déchets d'abattage                              | 0,9      | 50      |
| Industrie du bois                               | 6        | 15 - 35 |
| Ecorces                                         | 0,6      | 30 - 35 |
| Feuillage des Conifères abattus                 | 0,7      | 50      |
| Total Forêt                                     | 8,2      |         |
| INDUSTRIES AGRICOLES ET ALIMEN-<br>TAIRES (IAA) |          |         |
| Sérums                                          | 0,47     | 94      |
| Sang des abattoirs                              | 0,025    | 84      |
| Marc des distilleries vinicoles                 | 0,40     | 36 à 80 |
| Total IAA                                       | 0,9      |         |
| TOTAL GENERAL                                   | 45,3 (1) |         |

(1) Fraction de la rubrique « paille ».

(3) Equivalent énergétique : 18,1 Mtep.

(2) On n'a pas tenu compte de la valorisation insuffisante du produit lui-même (forêt sous-exploitée et mal gérée).

Source : note interne de P. Chartier (INRA) du 4/7/78.

On peut y ajouter par commodité (car il s'agit de matière organique et non de biomasse) les déchets de caoutchouc et des pneumatiques, soit 500 000 T/an environ à l'heure actuelle et plus de 600 000 T/an à moyen terme.

En réalité, les potentiels théoriques et plus encore les potentiels utilisables ne constituent qu'une faible part de ces gisements.

## I. DECHETS VEGETAUX A FAIBLE TAUX D'HUMIDITE

Pour simplifier, nous retiendrons dans cette catégorie quatre types de déchets :

- les pailles de céréales ..... 15 - 20 % d'humidité
- les pailles d'oléagineux ..... 12 - 20 % d'humidité
- les rafles et spathes de maïs ..... 45 et 35 % d'humidité
- les sarments de vignes ..... 25 % d'humidité

On pourrait y ajouter d'autres types de déchets comme les cosses de riz qui ont donné lieu à certaines expériences locales de réutilisation énergétique. Mais ces ressources secondaires pèsent peu au regard des précédentes, la culture du riz ne cessant d'ailleurs de régresser dans les deux départements où elle s'était développée.

## 1.1. LES PAILLES DE CEREALES

L'Institut Technique des Céréales et des Fourrages a réalisé une étude de synthèse sur les pailles de céréales, leur utilisation actuelle et leurs techniques de collecte (1). Elle apporte de nombreuses informations qui permettent une estimation du potentiel utilisable à des fins énergétiques même si la destination de la paille produite n'est, en général, connue que de façon très approximative.

On peut d'abord procéder à une estimation du potentiel théorique en précisant ses facteurs d'évolution et en tenant compte de la concurrence affectant les utilisations de la paille récoltée. Il faut de surcroît veiller à respecter certaines cohérences spatiales ou contraintes de renouvellement des sols, ce qui permet de procéder à des estimations du potentiel utilisable par régions - programmes.

### 1.1.1. Influence des variations du gisement sur le potentiel théorique.

Il suffit de prendre en compte les trois principales céréales (blé, orge et avoine) puisqu'elles représentent à elles seules 95 % de la production de grains, les autres concernant surtout les zones de montagne où leurs pailles sont systématiquement récupérées pour les litières d'élevage. Le potentiel théorique est représenté par la différence entre la paille produite et la paille récoltée. L'étude de l'ITCF donne les évaluations suivantes pour les trois grandes céréales (la production de paille n'étant plus recensée qu'indirectement à partir de ratios du type :

$$\text{rectement à partir de ratios du type : } \frac{\text{poids de paille}}{\text{poids de grains}} \text{ depuis 1971).}$$

unité : 1 MT de paille - matière sèche

| ANNEE | Production de grain | Production de paille (1) | Paille récoltée | Paille disponible laissée sur le champ |
|-------|---------------------|--------------------------|-----------------|----------------------------------------|
| 1972  | 30,8                | 25,2                     | 17,4            | 7,8                                    |
| 1973  | 30,9                | 25,3                     | 17,4            | 7,9                                    |
| 1974  | 31,0                | 25,4                     | 17,2            | 8,2                                    |
| 1975  | 26,1                | 21,4                     | 16,2            | 5,2                                    |
| 1976  | 26,0                | 21,3                     | 16,8            | 4,5                                    |

(1) Production estimée en fonction d'enquêtes indiquant les ratios paille/grain.

L'analyse de ce tableau permet plusieurs observations :

- si le rapport paille/grain est à peu près constant, la production de paille varie de façon importante selon les années ;
- la quantité de paille récoltée est en revanche assez stable, l'accroissement des surfaces récoltées compensant les baisses de rendement ;
- la quantité de paille disponible représentant la différence peut donc varier fortement, en l'occurrence du simple au double, pour les cinq années d'observation.

L'estimation du potentiel théorique nécessite donc un premier choix assez arbitraire, celui de l'année de référence. En l'occurrence, les conditions climatiques particulièrement défavorables de 75 et 76 plaident pour le même choix que celui de l'ITCF soit l'année 1973, que nous reprendrons à notre compte. *Mais il convient dès à présent de relever le caractère aléatoire du potentiel annuellement disponible.*

Cela dit, il reste à apprécier l'évolution possible de ce potentiel pour l'avenir. Il dépend directement du tonnage de paille produite. Or celui-ci peut s'exprimer comme le produit de trois facteurs :

(1) « Les pailles de céréales » - ITCF - APRIA - juillet 1976.

Production de paille = (surface emblavée) × (rendement en grains) × (ratio des poids paille grain).

Le premier facteur est peu susceptible d'évoluer. Par contre, le rendement de production en grain continuera d'augmenter lentement même si le rythme sera beaucoup moins

rapide qu'au cours de la décennie 1962-72. Par ailleurs, le ratio des poids paille grain risque

de décroître légèrement avec le renforcement des variétés de blé de plus grande valeur boulangère et qui sont des variétés à pailles courtes. Au total, et si l'évolution des deux derniers facteurs se compense, on peut supposer que la quantité de paille produite sera davantage sensible aux aléas climatiques qu'à une tendance agronomique ou économique déterminée.

### 1.1.2. Influence des utilisations concurrentes sur le potentiel théorique.

A partir d'un tonnage de production légèrement supérieur à celui adopté par l'ITCF (25,8 au lieu de 25,3 MT), une étude de l'INRA (1) donne la répartition suivante pour les utilisations de la paille :

|                                      |   |                                            |   |                               |   |                                      |
|--------------------------------------|---|--------------------------------------------|---|-------------------------------|---|--------------------------------------|
| Production<br>de paille<br>= 25,8 MT | { | Paille ramassée<br>= 18,3 MT               | { | litières de bovins<br>= 16 MT | { | litières de chevaux<br>= 1,2 MT      |
|                                      |   |                                            |   | commercialisation<br>= 2,3 MT |   | champignons                          |
|                                      |   | Paille laissée<br>sur le champ<br>= 7,5 MT | { | paille brûlée<br>= 3,5 MT     | { | divers : exportation<br>et industrie |
|                                      |   |                                            |   | paille enfouie<br>= 4 MT      |   |                                      |

Le potentiel théorique est ici estimé à 7,5 MT. Mais le schéma ci-dessus récapitule les diverses utilisations économiques pour lesquelles la paille est actuellement ramassée et qui concurrencent son utilisation énergétique. Il convient donc d'examiner l'évolution possible de chacune d'entre elles.

#### — LITIÈRES :

Le tonnage de litières pour chevaux ne regressera plus comme par le passé vu la nécessité de freiner les importations de viandes chevalines et la progression spectaculaire du cheval de selle. L'hypothèse de stabilité est la plus vraisemblable.

Le nombre de bovins continue à augmenter mais la consommation unitaire de paille va en diminuant avec l'évolution du type de stabulation. L'étude INRA estime que 3 MT seront rendus disponibles en cinq ans environ, dont une partie seulement sera réutilisable à d'autres fins vu la dispersion géographique de ce gisement supplémentaire (cf. § 1.1.3. ci-après).

L'élevage des porcs se fait actuellement sans litière, mais un retour à cette utilisation n'est pas exclu.

#### — FOURRAGE :

La paille n'est guère utilisée à cette fin que dans les périodes de disette fourragère comme en 1975. Un développement dans l'alimentation animale courante est parfaitement envisageable moyennant un conditionnement préalable, mais aucune estimation ne peut être avancée.

(1) Aspects économiques de la récupération des pailles - Rapport de synthèse INRA - avril 76.

## — UTILISATIONS INDUSTRIELLES :

La paille est susceptible de convenir comme matière première à de nombreuses industries :

— l'industrie chimique : L'utilisation de la paille n'est pas envisageable avant 2000 parce qu'elle entraînerait l'obsolescence d'équipements existants et de nouveaux investissements coûteux ;

— la fabrication de panneaux : En dépit de leurs qualités techniques, ces panneaux sont interdits par la réglementation en dehors des maisons individuelles car jugés insuffisamment ignifugés. Cette fabrication ne consomme que 0,01 MT de paille en France contre 0,07 en Grande-Bretagne ;

— la fabrication des pâtes à papier : Cette fabrication est en pleine régression en France. Par ailleurs, la paille ne pourrait constituer au mieux que 10 % de la composition du papier, soit 1,25 MT de paille d'après l'étude de l'ITCF, et moyennant des investissements spéculaux.

Au total, les utilisations industrielles de la paille ne paraissent pas devoir modifier le bilan d'ici 2000. Elles ne représenteront au mieux que 1 MT pour 0,1 MT en 1973.

## — EXPORTATIONS :

Elles ont représenté 0,3 MT en 1973. Elles sont d'autant plus fluctuantes que le marché n'est pas stabilisé en France. Une garantie d'écoulement à prix donné réduirait ces exportations.

En fin de comptes, l'évolution des utilisations de la paille sera largement déterminée par l'évolution des types de stabulation dans les élevages bovins et porcins. Une estimation grossière, compte tenu des diverses inconnues existantes, conduit à un *complément théoriquement disponible de 2 MT environ d'ici 1985. Ce qui porte ce potentiel théorique à :  $7,5 + 2 = 9,5$  MT.*

### 1.1.3. Potentiel utilisable.

Le potentiel théorique national de 0,5 MT doit maintenant être réduit de façon à respecter les contraintes d'espace ou de renouvellement de l'humus. Cette réduction n'inclut pas des contraintes économiques qui peuvent encore restreindre les disponibilités évaluées au niveau régional.

L'étude ITCF (p. 88) donne des estimations de consommation de paille pour litières de bovins en comparaison avec des productions régionales. Les régions déficitaires ou en sensible équilibre seront dans l'incapacité de dégager des excédents utilisables à l'avenir (et même si cela était, ils ne pourraient être collectés dans des conditions intéressantes vu leur faible volume). Ce qui conduit à retenir dix régions programmes. Une approche plus rigoureuse conduit à éliminer en outre deux régions de faible excédent : Provence-Côte-d'Azur, compte tenu de la fragilité de ses sols, et l'Alsace où 84 % de la paille est déjà récoltée. Il reste, en définitive, huit régions appartenant à cinq ZEAT susceptibles de dégager des excédents disponibles pour des utilisations énergétiques :

| ZEAT              | REGIONS                                   |
|-------------------|-------------------------------------------|
| Nord              | Nord                                      |
| Est               | Lorraine                                  |
| Bassin parisien   | Centre - Bourgogne - Champagne - Picardie |
| Région parisienne | Région parisienne                         |
| Sud-Ouest         | Midi-Pyrénées                             |

L'estimation du potentiel utilisable dans chacune de ces huit régions est fonction de la production et des utilisations de la paille dans la situation actuelle mais aussi de l'importance de la contrainte de renouvellement des sols.

Selon J. Boyeldieu (1) l'enlèvement des pailles appauvrit le sol en éléments minéraux (N, P2 O5, K2 O, Ca O, MgO) qu'il faut restituer par épandage d'engrais, mais surtout, il peut dégrader le bilan humique normalement équilibré par la transformation progressive de la paille en 6 à 30 mois. Cet équilibre est garanti par l'enfouissement de 25 à 50 % de pailles produites ou de leur équivalent, le seuil étant lié aux caractéristiques locales des sols.

Le tableau ci-dessous donne la répartition des utilisations des pailles produites pour les huit régions retenues en 1973 (2) ; il apparaît un pourcentage de pailles enfouies variant de 15 à 40 %. Ces pourcentages peuvent paraître faibles en eux-mêmes mais cette faiblesse coïncide le plus souvent avec de fort taux d'utilisation dans les litières de bovins, ce qui laisse supposer une large compensation par les fumures.

On peut donc supposer l'équilibre biologique assuré en l'état actuel. Notre estimation des disponibilités réelles sera donc définies par la somme de deux quantités :

- le tonnage des pailles brûlées dans les huit régions retenues : 4 MT environ ;
- les 2 MT de pailles qui peuvent être soustraites aux litières, ces 2 MT étant ventilés au prorata des quantités commercialisées en 1973 par chaque région.

*D'où le potentiel utilisable qui peut être estimé au maximum à 6 MT sous réserve des contraintes économiques de mise en œuvre.*

| Unité : 1 MT de paille humide et récapitulatif en MT de matière sèche (3). |       |           |          |               |                  |               |               |           |      |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|----------|---------------|------------------|---------------|---------------|-----------|------|
| REGIONS                                                                    | PROD. | % enfouie | % brûlée | % lit. bovins | % commercialisée | Tonnage brûlé | Récup. s/lit. | POTENTIEL |      |
|                                                                            |       |           |          |               |                  |               |               | humide    | sec  |
| Nord                                                                       | 1,47  | 20        | 15       | 47            | 18               | 0,23          | 0,16          | 0,39      | 0,32 |
| Lorraine                                                                   | 1,03  | 15        | 0        | 68            | 17               | —             | 0,11          | 0,11      | 0,09 |
| Centre                                                                     | 4,52  | 20        | 41       | 14            | 25               | 1,85          | 0,68          | 2,53      | 2,09 |
| Bourgogne                                                                  | 1,90  | 20        | 30       | 47            | 3                | 0,57          | 0,04          | 0,61      | 0,50 |
| Champagne                                                                  | 2,19  | 20        | 18       | 27            | 35               | 0,39          | 0,45          | 0,84      | 0,69 |
| Picardie                                                                   | 1,97  | 40        | 0        | 33            | 27               | —             | 0,32          | 0,32      | 0,26 |
| Région parisienne                                                          | 0,99  | 35        | 45       | 8             | 12               | 0,45          | 0,07          | 0,52      | 0,43 |
| Midi                                                                       | 1,78  | 15        | 19       | 50            | 16               | 0,33          | 0,17          | 0,50      | 0,41 |
| TOTAUX .....                                                               | 15,85 |           |          |               |                  | 3,82          | 2,00          | 5,82      | 4,80 |

## 1.2. LES PAILLES D'OLEAGINEUX

Le groupe INRA évalue à 2,9 MT de matière sèche le gisement actuel représenté par les pailles d'oléagineux. En réalité, il s'agit essentiellement de pailles de colza (85 % de la surface cultivée en oléagineux) et accessoirement de tournesol. Ces pailles sont aujourd'hui entièrement enfouies, le potentiel théorique s'identifie donc à la valeur du gisement puisqu'il n'y a pas actuellement d'utilisation concurrente.

Le potentiel utilisable n'est donc limité que par la contrainte de renouvellement des sols. Bien entendu celle-ci est liée aux caractéristiques locales, le seuil d'enfouissement minimum, en l'absence de fumure, se situant dans la fourchette 25-50 % selon les cas si l'on se réfère aux indications de J. Boyeldieu concernant les céréales. A l'échelle des régions programmes, le seuil moyen est difficile à apprécier. Nous supposons

(1) « Problèmes agronomiques posés par la récupération des résidus de récolte » - Intervention au Salon International de la Machine Agricole - 8 mars 1977.

(2) Source APRIA - citée par l'ITCF

(3) On prend une hypothèse moyenne, soit 17,5 % d'humidité.

donc un seuil moyen de 40 % pour les pailles devant être enfouies, le complément constituant le potentiel utilisable, qui s'élève selon cette hypothèse à :

$$2,9 \text{ MT} \times 60 \% = 1,7 \text{ MT}$$

Ce potentiel est ventilé par régions programmes au prorata du tonnage de grains produits en 1972 (d'après les statistiques SCEES 1972). Les résultats figurent au tableau récapitulatif à la fin du § 1.

### 1.3. LES RAFLES ET SPATHES DE MAÏS

Le groupe INRA évalue, en tonnage de matière sèche, à 1,4 MT le gisement représenté par les rafles et à 1,1 MT celui représenté par les spathes et donc à 2,5 MT l'ensemble.

Ce tonnage représente une moyenne, car sur les cinq dernières années il a pu varier du simple au double du fait de l'influence des aléas climatiques sur les rendements.

Ces déchets sont à peu près totalement enfouis, 6 % des rafles étant cependant employés à la production de furfural ou brûlés pour produire de la chaleur après séchage. Cet écart entre gisement et potentiel théorique n'est cependant pas suffisamment significatif pour être retenu, les aléas de production annuelle étant de l'ordre de 50 %.

Pour l'estimation du potentiel utilisable nous pouvons comme précédemment faire l'hypothèse d'une contrainte d'enfouissement de 40 % et effectuer une ventilation régionale de ce potentiel au prorata des productions de grains : en l'occurrence l'année 1975 a servi de référence aux estimations figurant dans le tableau récapitulatif (fin du § 1).

### 1.4. LES SARMENTS DE VIGNE

Ils représentent un gisement de 2,6 MT de matière sèche qui est actuellement totalement enfoui ou brûlé. Pour l'estimation du potentiel utilisable nous avons supposé une contrainte d'enfouissement de 40 % et une ventilation régionale au prorata des superficies récoltées en 1972. Le tableau ci-dessous récapitule les différents niveaux de potentiel des déchets considérés.

## DECHETS DE FAIBLE HUMIDITE

### Estimation globale du potentiel

Unité : MT de matière sèche.

| TYPE DE DECHETS | GISEMENT | POTENTIEL THEORIQUE | POTENTIEL UTILISABLE |
|-----------------|----------|---------------------|----------------------|
| Céréales        | 21,3     | 7,8                 | 4,8                  |
| Oléagineux      | 2,9      | 2,9                 | 1,7                  |
| Maïs            | 2,5      | 2,5                 | 1,5                  |
| Vigne           | 2,6      | 2,6                 | 1,6                  |

# DECHETS VEGETAUX DE FAIBLE HUMIDITE

## Estimation du potentiel utilisable par région

Unité : 1 MT de matière sèche.

| REGION            | CEREALES | OLEA-GINEUX | MAIS | VIGNE | TOTAL PAR REGIONS | TOTAL PAR ZEAT |
|-------------------|----------|-------------|------|-------|-------------------|----------------|
| Nord              | 0,32     | 0,01        | 0,01 | —     | 0,34              | 0,3            |
| Lorraine          | 0,09     | 0,07        | 0,01 | —     | 0,17              | 0,3            |
| Alsace            | —        | 0,03        | 0,02 | 0,02  | 0,07              |                |
| Franche-Comté     | —        | 0,03        | 0,01 | —     | 0,04              |                |
| Bretagne          | —        | —           | 0,03 | —     | 0,03              | 0,6            |
| Pays de la Loire  | —        | 0,02        | 0,07 | 0,08  | 0,17              |                |
| Poitou            | —        | 0,22        | 0,06 | 0,13  | 0,41              |                |
| Centre            | 2,09     | 0,38        | 0,19 | 0,06  | 2,72              | 4,9            |
| Bourgogne         | 0,50     | 0,17        | 0,08 | 0,03  | 0,78              |                |
| Champagne         | 0,69     | 0,06        | 0,11 | 0,03  | 0,89              |                |
| Basse-Normandie   | —        | 0,01        | 0,01 | —     | 0,02              |                |
| Haute-Normandie   | —        | 0,06        | 0,03 | —     | 0,09              |                |
| Picardie          | 0,26     | 0,05        | 0,09 | —     | 0,40              |                |
| Région Parisienne | 0,43     | 0,04        | 0,13 | —     | 0,60              | 0,6            |
| Aquitaine         | —        | 0,10        | 0,30 | 0,21  | 0,61              | 1,6            |
| Midi              | 0,41     | 0,21        | 0,20 | 0,14  | 0,98              |                |
| Limousin          | —        | —           | —    | —     | —                 | 0,1            |
| Auvergne          | —        | 0,06        | 0,03 | 0,01  | 0,10              |                |
| Rhône-Alpes       | —        | 0,15        | 0,11 | 0,10  | 0,36              | 0,4            |
| Languedoc         | —        | 0,04        | —    | 0,57  | 0,61              | 0,8            |
| Provence          | —        | —           | 0,01 | 0,20  | 0,21              |                |
| FRANCE            | 4,8      | 1,7         | 1,5  | 1,6   | 9,6               | 9,6            |



## II. DECHETS VEGETAUX ET ANIMAUX A FORT TAUX D'HUMIDITE

Cette catégorie comprend tous les déchets dont le taux d'humidité est trop élevé pour envisager une transformation énergétique par combustion, sauf à envisager un long ou coûteux séchage. Elle comprend :

— d'une part des déchets végétaux :

- \* tiges et feuilles de maïs à 60-70 % de taux d'humidité
- \* feuilles et collets de betteraves industrielles à 85-88 % de taux d'humidité (les betteraves fourragères sont intégralement destinées à l'alimentation des ruminants) ;

— d'autre part des déjections animales :

- \* fumier de bovins à 90-93 % d'humidité
- \* lisier d'ovins et porcins à 70-75 et 95 % d'humidité
- \* fientes de volailles à 75-80 % d'humidité.

### 2.1. DECHETS VEGETAUX

La méthodologie d'évaluation du potentiel est identique à celle employée pour les déchets végétaux à faible humidité.

#### 2.1.1. Tiges et feuilles de maïs.

Le gisement représente 4,3 MT de matière sèche (2,7 pour les tiges et 1,6 pour les feuilles). Le potentiel théorique se confond avec lui car ces déchets sont aujourd'hui intégralement enfouis. On retient alors comme potentiel utilisable ce qui n'est pas nécessaire à la reconstitution des sols, soit 60 % du gisement que l'on ventile par régions au prorata de la production de grains en 1975 (cf. tableau ci-après).

#### 2.1.2. Feuilles et collets de betteraves.

Le gisement et le potentiel théorique se confondent pratiquement puisque 4 % seulement est réutilisé pour l'alimentation animale. Il est de 2,9 MT selon le groupe de travail INRA. On suppose que le potentiel utilisable ne représente que 60 % et la ventilation se fait également au prorata de la production de betteraves en 1975. On notera que la surface de culture est en augmentation constante depuis cinq ans. Si cette tendance se prolongeait, le potentiel utilisable serait accru d'autant.

### 2.2. DEJECTIONS ANIMALES

Le gisement est estimé à 28,8 MT de matière sèche par le groupe INRA et ce, en intégrant la paille incluse dans le fumier des bovins. Ce gisement est à l'heure actuelle entièrement réutilisé à la reconstitution des sols par enfouissement ou simple épandage. Mais cette réutilisation n'est nullement incompatible avec une valorisation énergétique puisque la filière de la fermentation organique donne un résidu de plus grande valeur pour les sols.

D'autre part, l'estimation de ce gisement ne prend en compte que la quantité de déjections produite pendant la durée moyenne de stabulation du bétail. Elle équivaut donc non seulement à un potentiel théorique mais aussi à un potentiel utilisable au sens où nous l'avons défini au départ.

Il n'est cependant pas possible de ventiler ce potentiel par région au prorata du cheptel recensé, car les différences de durées de stabulation introduisent des distorsions importantes. C'est pourquoi l'estimation du potentiel par régions a été reprise au départ sur la base d'hypothèses simplificatrices, toutes les caractéristiques du cheptel ou des usages en matière de stabulation ne pouvant être prises en compte.

## DECHETS VEGETAUX DE FORTE HUMIDITE

### Estimation du potentiel utilisable par régions

Unité : 1 MT de matière sèche.

| REGION            | MAIS | BETTERAVES<br>INDUSTR. | TOTAL PAR<br>REGIONS | TOTAL PAR<br>ZEAT |
|-------------------|------|------------------------|----------------------|-------------------|
| Nord              | 0,01 | 0,25                   | 0,26                 | 0,26              |
| Lorraine          | 0,01 | —                      | 0,01                 | 0,09              |
| Alsace            | 0,04 | 0,02                   | 0,06                 |                   |
| Franche-Comté     | 0,02 | —                      | 0,02                 |                   |
| Bretagne          | 0,05 | —                      | 0,05                 | 0,26              |
| Pays de la Loire  | 0,11 | —                      | 0,11                 |                   |
| Poitou            | 0,10 | —                      | 0,10                 |                   |
| Centre            | 0,33 | 0,10                   | 0,43                 | 2,14              |
| Bourgogne         | 0,13 | 0,03                   | 0,16                 |                   |
| Champagne         | 0,18 | 0,37                   | 0,55                 |                   |
| Basse-Normandie   | 0,02 | 0,03                   | 0,05                 |                   |
| Haute-Normandie   | 0,04 | 0,11                   | 0,15                 |                   |
| Picardie          | 0,16 | 0,64                   | 0,80                 | 0,39              |
| Région Parisienne | 0,22 | 0,17                   | 0,39                 |                   |
| Aquitaine         | 0,51 | —                      | 0,51                 |                   |
| Midi              | 0,34 | —                      | 0,34                 | 0,85              |
| Limousin          | 0,01 | —                      | 0,01                 | 0,07              |
| Auvergne          | 0,06 | —                      | 0,06                 |                   |
| Rhône-Alpes       | 0,20 | —                      | 0,20                 | 0,20              |
| Languedoc         | 0,01 | —                      | 0,01                 | 0,03              |
| Provence          | 0,02 | —                      | 0,02                 |                   |
| FRANCE            | 2,6  | 1,7                    | 4,3                  | 4,3               |

#### 2.2.1. Hypothèses de calcul.

##### \* EQUIVALENCES EN UGB (1) :

Les statistiques de cheptel utilisées concernent les effectifs de 1976 publiées dans l'annuaire statistique du Ministère de l'Agriculture (SCEES) en 1977. Elles distinguent plu-

(1) UGB : unité de gros bétail.

leurs catégories par espèces recensées, ce qui nécessite le choix de coefficients d'équivalence pour convertir toutes ces catégories et espèces en une seule unité : l'Unité de Gros Bétail (UGB), soit un bovin adulte de 620 kg.

Sur la base des moyennes observées par les statisticiens du SCEES, on peut adopter les équivalences suivantes :

|                           |                 |   |        |     |
|---------------------------|-----------------|---|--------|-----|
| <i>bovins :</i>           | — plus de 2 ans | : | 1      | UGB |
|                           | — de 1 à 2 ans  | : | 0,700  | "   |
|                           | — de 0 à 1 an   | : | 0,300  | "   |
| <i>ovins et caprins :</i> |                 | : | 0,10   | "   |
| <i>porcins :</i>          |                 | : | 0,10   | "   |
| <i>volailles :</i>        | — poules        | : | 0,0014 | "   |
|                           | — canards       | : | 0,0014 | "   |
|                           | — dindons       | : | 0,0025 | "   |
|                           | — oies          | : | 0,0025 | "   |
| <i>lapins :</i>           |                 | : | 0,002  | "   |

#### \* DUREE DE STABULATION

L'élevage d'une partie du bétail se fait en lieux confinés. C'est le cas des porcins, des volailles et des lapins. Dans ce cas, la collecte des déjections ne soulève pas de difficultés. En revanche, les déjections de bovins et ovins ne peuvent être récupérées à des fins énergétiques que lors des périodes de stabulation, lesquelles dépendent essentiellement du climat.

En effet, si l'on retient comme découpage du territoire les trois zones climatiques retenues officiellement pour les normes thermiques de l'habitat, on constate les durées de stabulation suivantes :

- en zone A : de 5 à 6 mois selon l'altitude notamment (1)
- en zone B : 4 mois environ
- en zone C : 0

Sur la base de telles hypothèses et de la répartition géographique du cheptel à l'intérieur des régions, nous avons procédé à une estimation de la durée moyenne de stabulation par région programme, soit :

- 5 mois 1/2 : Lorraine, Alsace, Franche-Comté, Auvergne
- 5 mois : Champagne, Rhône-Alpes
- 4 mois 1/2 : Limousin
- 4 mois : Région Parisienne, Haute-Normandie, Basse-Normandie, Nord, Pays de la Loire, Bretagne, Provence
- 3 mois 1/2 : Poitou, Midi
- 3 mois : Aquitaine
- pas de stabulation : Languedoc

#### \* RATIO UNITAIRE DE DEJECTIONS :

L'INRA estime à 4 ou 5 kg le poids de matière sèche contenu dans les déjections par UGB et par jour. En retenant la moyenne, soit 4,5 kg, ce poids équivaut à 1,64 T de matière sèche/UGB/an.

#### \* PAILLE DES LITIÈRES :

La paille des litières représentait 15,6 MT en 1973, soit 12,9 MT de matière sèche avec une hypothèse moyenne de 17,5 % comme taux d'humidité. Les statistiques du SCEES permettent une ventilation par régions.

(1) Moyenne établie à partir de l'examen de fiches communales communiquées par l'Institut National d'Etudes Rurales Montagnardes (INERM).

## 2.2.2. Potentiel utilisable.

Le tableau qui suit résume par région les composantes du potentiel de biomasse utilisable, l'unité de base du calcul de potentiel étant l'équivalence avec le potentiel d'un UGB fictif en stabulation 12 mois sur 12.

### DEJECTIONS ANIMALES

#### Estimation du potentiel utilisable par région

Unité :  $10^3$  UGB  $\times$  an et 1 MT de matière sèche.

| REGIONS           | Bovins<br>et<br>Ovins | Porcins | Volailles | Total en<br>UGB $\times$<br>an | Déjec-<br>tions | Paille de<br>litière | TOTAL en MT |       |
|-------------------|-----------------------|---------|-----------|--------------------------------|-----------------|----------------------|-------------|-------|
|                   |                       |         |           |                                |                 |                      | région      | ZEAT  |
| Nord              | 262                   | 110     | 11        | 383                            | 0,63            | 0,57                 | 1,20        | 1,20  |
| Lorraine          | 486                   | 21      | 7         | 514                            | 0,84            | 0,58                 | 1,42        |       |
| Alsace            | 104                   | 16      | 6         | 126                            | 0,21            | 0,16                 | 0,37        | 2,63  |
| Franche-Comté     | 270                   | 13      | 4         | 287                            | 0,47            | 0,37                 | 0,84        |       |
| Bretagne          | 759                   | 434     | 65        | 1 258                          | 2,06            | 1,51                 | 3,57        |       |
| Pays de la Loire  | 845                   | 87      | 37        | 969                            | 1,59            | 1,71                 | 3,30        | 8,16  |
| Poitou            | 313                   | 38      | 28        | 379                            | 0,62            | 0,67                 | 1,29        |       |
| Centre            | 245                   | 31      | 28        | 304                            | 0,50            | 0,51                 | 1,01        |       |
| Bourgogne         | 370                   | 27      | 11        | 408                            | 0,67            | 0,74                 | 1,41        |       |
| Champagne         | 293                   | 15      | 6         | 314                            | 0,51            | 0,49                 | 1,00        | 7,59  |
| Basse-Normandie   | 560                   | 33      | 10        | 603                            | 0,99            | 1,08                 | 2,07        |       |
| Haute-Normandie   | 277                   | 18      | 9         | 304                            | 0,50            | 0,62                 | 1,12        |       |
| Picardie          | 235                   | 25      | 10        | 270                            | 0,44            | 0,54                 | 0,98        |       |
| Région Parisienne | 30                    | 4       | 7         | 41                             | 0,07            | 0,06                 | 0,13        | 0,13  |
| Aquitaine         | 232                   | 58      | 25        | 315                            | 0,52            | 0,58                 | 1,10        |       |
| Midi              | 387                   | 81      | 24        | 492                            | 0,81            | 0,73                 | 1,54        | 2,64  |
| Limousin          | 305                   | 27      | 4         | 336                            | 0,55            | 0,50                 | 1,05        |       |
| Auvergne          | 530                   | 36      | 9         | 575                            | 0,94            | 0,73                 | 1,67        | 2,72  |
| Rhône-Alpes       | 424                   | 52      | 27        | 503                            | 0,82            | 0,64                 | 1,46        | 1,46  |
| Languedoc         | —                     | 9       | 8         | 17                             | 0,03            | 0,08                 | 0,11        |       |
| Provence          | 56                    | 24      | 6         |                                | 0,14            | 0,04                 | 0,18        | 0,29  |
| FRANCE            | 6 983                 | 1 159   | 342       | 8 484                          | 13,91           | 12,90                | 26,81       | 26,81 |

### III. EXPLOITATION DES TAILLIS ET DECHETS DU BOIS

#### 3.1. EXPLOITATION DES TAILLIS

Sur un gisement, c'est-à-dire une production forestière totale en année moyenne de  $50.10^6$  m<sup>3</sup>/an, l'abattage ne représente que  $32.10^6$  m<sup>3</sup>/an environ. La différence représente un potentiel théorique totalement inexploité à ce jour. Un inventaire forestier national est actuellement en cours (1) pour préciser les caractéristiques de la ressource dans son ensemble. C'est seulement après sa publication (fin 1979) qu'il sera possible de préciser quelle part et selon quelle répartition spatiale les  $18.10^6$  m<sup>3</sup>/an actuellement inexploités pourraient être utilisés à des fins énergétiques (2).

#### — FACTEUR D'ACCROISSEMENT DU POTENTIEL THEORIQUE ET UTILISABLE

La surface boisée ne cesse de croître avec le recul de l'agriculture dans certaines zones difficiles, mais sans qu'il soit possible d'en tirer parti (développement des ronces et taillis, éparpillement, etc.). En revanche, une politique d'entretien des surfaces boisées permettrait de développer des essences (feuillus ou résineux) plus productives et de permettre une exploitation rationnelle (y compris du point de vue des cycles écologiques) du bois. Il y a de ce fait une possibilité d'accroissement du potentiel théorique et utilisable.

#### — FACTEURS DE REDUCTION DU POTENTIEL UTILISABLE

En revanche il existe d'importants facteurs de diverse nature qui contribuent à réduire le potentiel utilisable.

1°) Le bois constitue actuellement le deuxième poste déficitaire de notre balance commerciale. Tout ajout sur le marché d'une production supplémentaire à des conditions économiques intéressantes pourrait être absorbé par les usines de pâtes ou les industries du bois qui importent actuellement d'importantes et croissantes quantités de bois scandinave. Autrement dit, un accroissement du gisement physique n'implique pas nécessairement un accroissement du potentiel utilisable.

2°) En réalité, les conditions actuelles paraissent encore loin de se rapprocher de « conditions économiques intéressantes ». 78 % de la forêt française se trouvent morcelés entre une multitude de propriétaires dont une partie seulement assure la gestion de son patrimoine et encore le plus souvent sans concertation (3). Il n'y a pas a priori plus de chances que ces propriétaires s'organisent pour une exploitation énergétique de ce potentiel plutôt que pour une exploitation en vue d'une transformation industrielle du bois.

Aussi ne peut-on raisonnablement envisager à moyen terme que des installations de transformation énergétique à petite échelle, notamment des installations de pyrolyse (gazogène) permettant la production de charbon de bois. La combustion se heurtera quant à elle au problème du chargement discontinu des chaudières, à moins de transformer préalablement le bois en copeaux, ce qui n'est possible qu'à une certaine échelle difficilement compatible avec l'organisation actuelle de l'abattage et du transport.

Dans une certaine mesure, il est vrai, cette mauvaise organisation met l'utilisation énergétique de la biomasse à *petite échelle* à l'abri de la concurrence des autres usages (pâte à papier, menuiserie, etc.).

A titre indicatif, on peut rappeler la répartition actuelle des superficies de forêts par ZEAT, hormis le million d'hectares de petites superficies dispersées, bien qu'elle ne préjuge pas directement de la répartition du potentiel énergétique utilisable.

(1) Inventaire sous la responsabilité de l'ONF avec la participation de l'INRA (Nancy).

(2) Néanmoins, la contrainte de renouvellement des sols reste à préciser selon les régions.

(3) Voir notamment à ce sujet le rapport de B. de Jouvenel sur la forêt française - numéro spécial de la Revue Forestière, Nancy, 1978, ainsi que le numéro spécial « La Forêt » de la revue Après-Demain, juillet-août 1978.

| ZEAT              | Superficie de forêt. 10 <sup>3</sup> ha (1972) |
|-------------------|------------------------------------------------|
| Nord              | 90                                             |
| Est               | 1 884                                          |
| Ouest             | 1 035                                          |
| Bassin Parisien   | 3 264                                          |
| Région Parisienne | 262                                            |
| Sud-Ouest         | 2 913                                          |
| Massif Central    | 1 253                                          |
| Rhône-Alpes       | 1 394                                          |
| Méditerranée      | 1 930                                          |
| FRANCE            | 14 026 10 <sup>3</sup> ha                      |

### 3.2. RECUPERATION DES DECHETS DU BOIS

Sur les 32.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de bois abattus, 8.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> seulement ne sont pas recyclables sous cette forme (meubles, poteaux de mine, papeterie, etc.). Les 24.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> restants constituent des déchets dont l'utilisation se répartit comme suit (1) :

Production de déchets en 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> (cf. schéma joint extrait de l'étude du CTB)

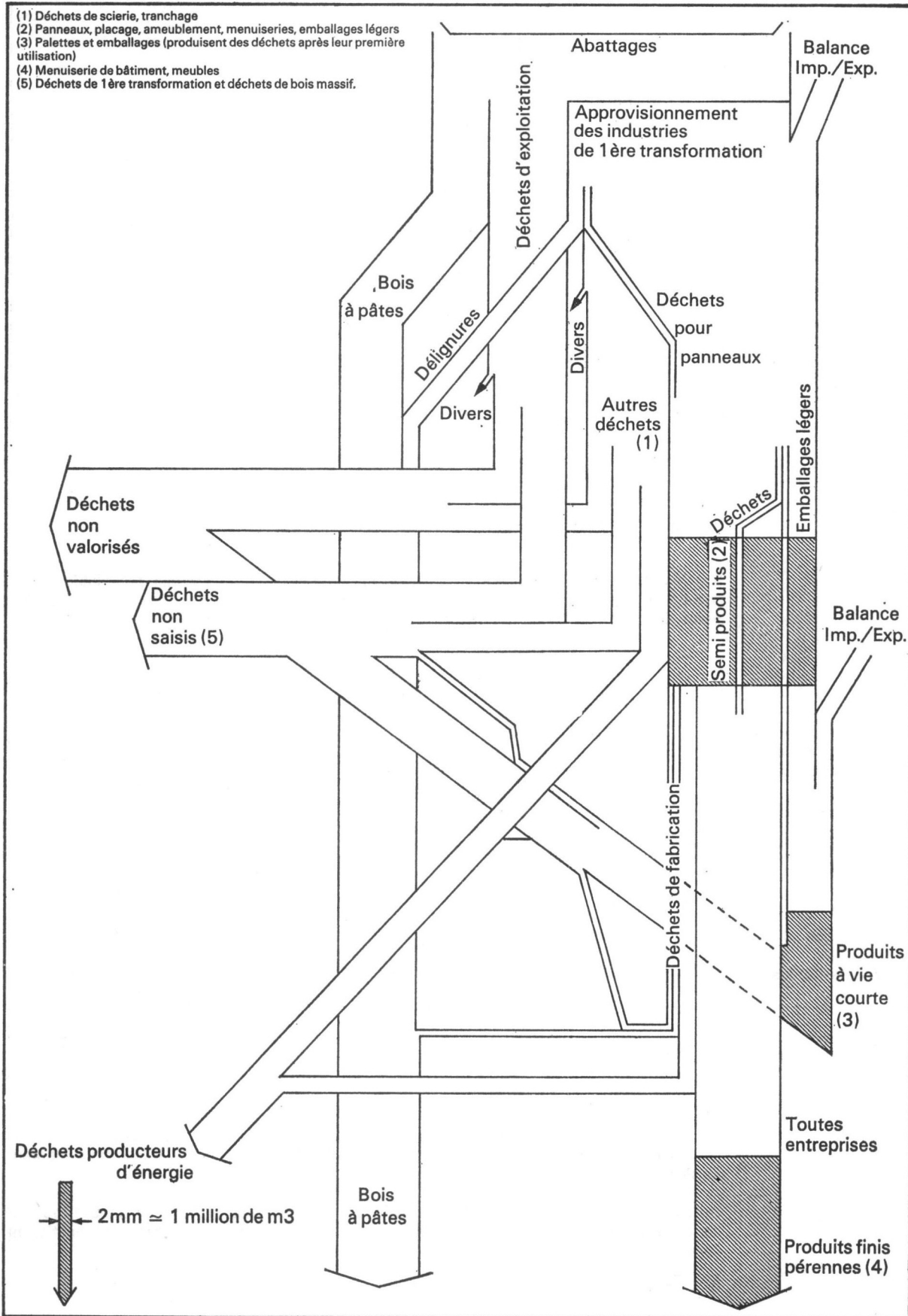
| Utilisation actuelle | Exploitation forestière | Transformation intermédiaire du bois | Fabrication des produits finaux | TOTAL  |
|----------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------|
| Trituration          | —                       | 1 450                                | 700                             | 2 150  |
| Energie              | —                       | 1 910                                | 1 840                           | 3 750  |
| Divers               | 250                     | 200                                  | 210                             | 660    |
| Destination inconnue | 3 930                   | 3 000                                | 540                             | 7 470  |
| Déchets perdus       | 3 000                   | 2 430                                | 4 580                           | 10 010 |
| TOTAL                | 7 180                   | 9 640                                | 7 870                           | 24 040 |

On notera tout d'abord le caractère non négligeable de la récupération énergétique actuellement pratiquée : 3.7 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> soit, 0,8 Mtep de PCI (bois sec) ou 0,4 Mtep (bois humide) de PCI.

Après déduction des réutilisations actuelles, il ne reste pas moins que 11 à 16.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de déchets perdus et donc susceptibles d'une valorisation énergétique. Ils constituent donc un potentiel théorique au sens où nous l'avons retenu.

(1) « Les déchets du bois ». Rapport de Synthèse. Centre Technique du bois. Janvier 1978.

## UTILISATIONS DES DÉCHETS DU BOIS



Source : Étude du C.T.B. sur « les déchets du bois », janvier 1978

Pour définir la part utilisable de ce potentiel théorique, il est nécessaire de distinguer la provenance de ces déchets perdus :

1°) *déchets d'exploitation forestière* (houppiers, bois rémanent).

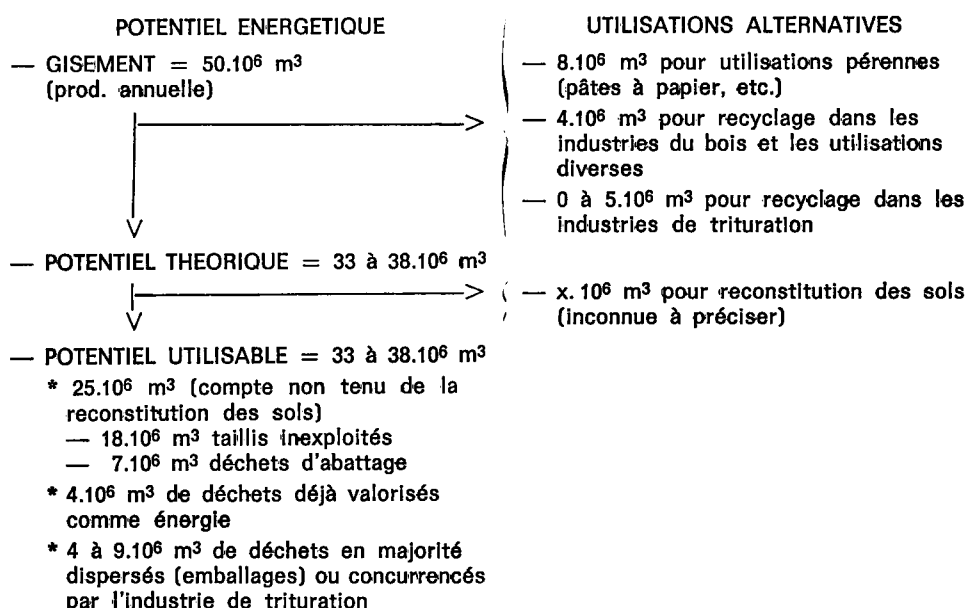
3.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ne sont pas valorisés et 4.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> n'ont pas de destination connue mais sont pour l'essentiel abandonnés ou brûlés sur place. Ces déchets relèvent de la même problématique de collecte et de transformation énergétique que les taillis inexploités (cf. § 3.1.) ;

2°) *déchets de transformation intermédiaire* (sciure, dosses et délignures).

2.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ne sont pas valorisés et 3.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> n'ont pas de destination connue. Tous ces déchets sont produits en scierie. Leur concentration sur les lieux de production favorise leur récupération, soit pour la trituration (panneaux de fibres et particules), soit pour la transformation énergétique. La réutilisation dans l'industrie de la trituration peut constituer selon le CTB un marché important à l'avenir. Le potentiel énergétique utilisable ne constituerait alors qu'une faible part des 2 à 5.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> a priori disponibles.

3°) *déchets de fabrication des produits finaux*. Ils représentent un potentiel théorique de 4 à 5.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> sous forme d'emballages ou de bois de chantier. Ce bois convient particulièrement bien à la combustion, étant relativement sec. Mais sa dispersion pose un problème de collecte difficile à résoudre.

On peut finalement résumer ces estimations sur le potentiel des taillis et des déchets du bois par le schéma suivant :



En définitive, la possibilité d'accroître la mobilisation du potentiel utilisable comme source d'énergie dépendra essentiellement de la capacité à collecter et transformer les ressources forestières (taillis et déchets d'abattage), ce qui ne semble envisageable qu'à partir de 1985. Il est par ailleurs impossible de donner une ventilation régionale de ce potentiel du moins tant que les résultats de l'Inventaire Forestier National n'auront pas été publiés.

## IV. DECHETS INDUSTRIELS ORGANIQUES

### 4.1. INDUSTRIES ALIMENTAIRES

Il n'y a pas encore eu à notre connaissance d'évaluation de ce potentiel. Mais, compte tenu de la concurrence des possibilités de récupération dans l'alimentation animale, il paraît prudent de ne pas en tenir compte dans notre évaluation du potentiel utilisable à des fins énergétiques.



#### 4.2. CAOUTCHOUCS ET PNEUMATIQUES

Les déchets de caoutchouc représentaient un tonnage de 480 000 T en 1975 dont 350 000 T pour les seuls pneumatiques. Aussi, l'évolution de ce potentiel dépendra surtout de l'évolution des modes de transport. De ce point de vue, des évolutions tendancielle admettent une augmentation de 50 % environ d'ici 2000. Par hypothèses, nous retiendrons donc un potentiel entièrement utilisable (puisque aucune utilisation concurrente importante n'est envisagée) de 700 000 T environ en 2000. Ce potentiel est essentiellement récupérable en zone urbaine, ce qui facilite sa collecte à supposer que les obstacles à sa transformation énergétique puissent être levés. En supposant une répartition régionale au prorata de la population on obtient les tonnages suivants :

| ZEAT              | Déchets caoutchouc (en 10 <sup>3</sup> T) |
|-------------------|-------------------------------------------|
| Nord              | 50                                        |
| Est               | 60                                        |
| Ouest             | 90                                        |
| Bassin Parisien   | 130                                       |
| Région Parisienne | 130                                       |
| Sud-Ouest         | 60                                        |
| Massis Central    | 30                                        |
| Rhône-Alpes       | 70                                        |
| Méditerranée      | 80                                        |
| FRANCE            | 700                                       |

# LE POTENTIEL ENERGETIQUE UTILISABLE

L'estimation du potentiel d'utilisation énergétique de la biomasse repose en définitive sur l'évaluation qui précède des ressources physiques utilisables en tonnage de matière sèche, et sur des hypothèses concernant les rendements de transformation énergétique de ces ressources. L'application de ces hypothèses ne soulève pas de difficultés dans la mesure où l'évaluation initiale des ressources a distingué celles-ci en catégories correspondant aux filières qui semblent les mieux appropriées.

Les résultats des potentiels énergétiques de la biomasse sont indiqués en énergie utile, seul niveau homogène de comparaison des catégories de ressources prises en compte : elle représente environ les deux tiers de l'équivalent en combustibles classiques d'énergie finale.

L'homogénéisation des résultats à ce niveau nécessite quelques conventions pour prendre en compte les rendements successifs de transformation et d'utilisation de la ressource brute :

- rendements de transformation : ils sont précisés ci-après par filières et catégories de biomasse ;
- rendements de combustion : 85 %, sauf pour la combustion directe des végétaux ;
- rendements de transport : 85 % pour les chaufferies urbaines ;
- rendements d'adéquation : 85 % en général.

On peut par ailleurs préciser les données spécifiques aux quatre catégories de ressources :

### 1) DECHETS VEGETAUX DE FAIBLE HUMIDITE

On retient la filière énergétique la plus performante, en l'occurrence la combustion avec un PCI récupérable, rendement de combustion inclus, de 4 700 th/tonne de matière sèche ou 4 000 th/T de matière brute à 15 % d'humidité. Il convient de considérer en sus le rendement d'adéquation de 85 %.

### 2) DECHETS VEGETAUX ET ANIMAUX DE FORTE HUMIDITE

La fermentation anaérobie, seule filière pratiquement adaptée à ce type de biomasse, semble à même de produire 0,35 à 0,40 m<sup>3</sup> de gaz/kg de matière sèche, le PCI du gaz étant de 5,5 th/m<sup>3</sup>. Les rendements de combustion et d'adéquation de 85 % chacun sont pris en compte en sus.

### 3) EXPLOITATION DES TAILLIS ET DECHETS DU BOIS

Ces ressources, faute d'être suffisamment inventoriées au moment de l'étude, ne sont pas pris en compte dans l'estimation du potentiel énergétique de la biomasse. En supposant que le potentiel de 33 à 38 millions de m<sup>3</sup>, qui représente un plafond de ressources disponibles, soit entièrement transformé en charbon de bois dont le PCI est de 4 300 th par tonne de bois sec utilisé, on disposerait d'un potentiel énergétique de 4 à 5 Mtep.

### 4) DECHETS DU CAOUTCHOUC ET PNEUMATIQUES

Le PCI de cette ressource représente 8 000 th/tonne. On doit en déduire les pertes dues aux rendements de combustion, transport et adéquation.

Le tableau qui suit récapitule les estimations de potentiel énergétique utilisable. La valorisation énergétique de la biomasse se heurte encore parfois à de réels obstacles techniques, et généralement à des contraintes de financement ou d'organisation sociale d'autant plus difficiles à évaluer qu'elles varient beaucoup selon les conditions locales.

Ces contraintes pourraient être mieux connues à partir d'expérimentations en vraie grandeur.

# **Potentiel énergétique de biomasse utilisable.**

Unité : 1 MTEP d'énergie utile.

| ZEAT              | Déchets végétaux de faible humidité | Déchets végétaux de forte humidité | Déchets animaux (3) | Caoutchouc et pneumatiques | TOTAL |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------------|-------|
| Nord              | 0,14                                | 0,05                               | 0,20                | 0,03                       | 0,4   |
| Est               | 0,11                                | 0,02                               | 0,42                | 0,04                       | 0,6   |
| Ouest             | 0,24                                | 0,05                               | 1,32                | 0,05                       | 1,7   |
| Bassin Parisien   | 2,00                                | 0,34                               | 1,23                | 0,07                       | 3,6   |
| Région Parisienne | 0,24                                | 0,06                               | 0,02                | 0,07                       | 0,4   |
| Sud-Ouest         | 0,64                                | 0,14                               | 0,43                | 0,04                       | 1,3   |
| Massif Central    | 0,04                                | 0,01                               | 0,44                | 0,02                       | 0,5   |
| Rhône-Alpes       | 0,15                                | 0,04                               | 0,23                | 0,04                       | 0,5   |
| Méditerranée      | 0,33                                | 0,01                               | 0,05                | 0,05                       | 0,4   |
| FRANCE            | 3,9                                 | 0,7                                | 4,4                 | 0,4                        | 9,4   |

## **Remarques :**

(1) L'énergie utile est la seule base de référence homogène pour une comptabilisation commune des potentiels énergétiques des différents types de biomasse. Elle représente environ les deux tiers de l'équivalent en combustibles classiques d'énergie finale.

(2) L'exploitation des taillis et la récupération des déchets du bois ne sont pas pris en compte, ni les déchets des IAA.

(3) Le potentiel énergétique des déchets animaux inclut celui des pailles des litières.

---

**NOTE SUR LES POTENTIELS ENERGETIQUES**

- I. - De l'énergie solaire**
  - II. - Des déchets urbains**
  - III. - Des pompes à chaleur**
  - IV. - De l'énergie éolienne**
-

## I. - APPORT DE L'ENERGIE SOLAIRE

La ressource brute de l'énergie solaire dépasse de loin ses possibilités d'utilisation technique et économique. Se prêtant surtout aux usages basse température, son potentiel d'utilisation est conditionné par ses possibilités de pénétration dans les usages chauffage, production d'eau chaude sanitaire de l'habitat, du sanitaire ou de l'industrie.

En pratique, ces possibilités de pénétration concernent essentiellement les constructions neuves, excepté la production d'eau chaude sanitaire, compte tenu de contraintes techniques, économiques et architecturales évidentes.

D'autre part, seul le solaire actif a été pris en compte. Cette hypothèse ne préjuge pas des avantages du solaire passif, mais puisqu'il s'agit de procéder à une estimation de l'apport possible de l'ensemble des techniques solaires dans les conditions favorables du scénario 2000 III, la contribution du solaire passif sera supposée incluse dans cet ensemble, compte tenu des coefficients très favorables retenus pour la pénétration du solaire actif.

Enfin, compte tenu de sa bonne adaptation à l'habitat neuf isolé, le solaire ne semble pas devoir être concurrencé par les autres énergies locales (géothermie, production combinée, voire biomasse). Aussi n'a-t-on pas retenu cette contrainte dans les hypothèses de pénétration régionales.

### HYPOTHESES DE PENETRATION PAR TYPE DE CONSTRUCTION

Pour tous les types de construction, l'apport de l'énergie utile a été estimé comme étant le produit de quatre paramètres :

- le nombre d'unités de consommation (logements, habitants, m<sup>2</sup> de locaux tertiaires ou industriels) par régions,
- les consommations de chaleur unitaires annuelles,
- le taux de couverture par l'énergie solaire de ces consommations par unité utilisant cette énergie,
- le taux de pénétration de l'énergie solaire ou proportion des unités de consommation utilisant cette énergie.

De ces quatre paramètres, seul le taux de couverture des besoins pour l'énergie solaire a été supposé indépendant des types de construction. Il dépend néanmoins de la catégorie d'usage concernée : chauffage des locaux ou production d'eau chaude sanitaire (ECS).

#### Taux de couverture par l'énergie solaire.

| REGION            | CHAUFFAGE en % | ECS en % |
|-------------------|----------------|----------|
| Région Parisienne | 0,55           | 0,50     |
| Bassin Parisien   | 0,55           | 0,50     |
| Nord              | 0,45           | 0,50     |
| Est               | 0,45           | 0,50     |
| Ouest             | 0,55           | 0,60     |
| Sud-Ouest         | 0,55           | 0,60     |
| Massif Central    | 0,55           | 0,60     |
| Rhône-Alpes       | 0,55           | 0,60     |
| Méditerranée      | 0,75           | 0,80     |

La détermination de ces taux de couverture correspond aux taux de couverture assurés pour chaque région par des surfaces identiques de capteurs, soit, pour une maison individuelle : 30 m<sup>2</sup> pour le chauffage et 4 m<sup>2</sup> pour l'ECS.

## 1) SECTEUR RESIDENTIEL

### 1.1. Eau chaude sanitaire

- les consommations unitaires sont supposées être de 1,4 Mth/10<sup>3</sup> habitants/an,
- les taux de pénétration ne varient pas selon le type d'habitat (individuel ou collectif). En revanche, ils dépendent de l'âge (construction avant ou après 1975) du bâtiment et de la région.

#### Taux de pénétration du solaire pour l'ECS

| REGIONS | Construction |            |
|---------|--------------|------------|
|         | avant 1975   | après 1975 |
| 1 à 4   | 0,20         | 0,40       |
| 5 à 8   | 0,25         | 0,50       |
| 9       | 0,35         | 0,70       |

### 1.2. Chauffage

- les consommations unitaires de chauffage par type de logement et par région figurent dans l'annexe 3, chapitre « Chauffage des logements ».
- les taux de pénétration n'ont pas été différenciés selon les régions puisque la durée de la saison de chauffage compense en général les différences d'ensoleillement. On a retenu 0,35 pour l'habitat individuel neuf et 0,15 pour le collectif neuf.

## 2) SECTEUR INDUSTRIEL

On a supposé uniformément un taux de pénétration de 25 % dans les usages basse température de l'industrie, l'importance de ces usages selon les régions étant précisée en annexe 3.

## 3) SECTEUR TERTIAIRE

On a supposé également un taux de pénétration de 25 % pour tous les usages chauffage et ECS du tertiaire, lesquels représentent selon les hypothèses de MEDEE 120 th/m<sup>2</sup>/an.

Sur la base des hypothèses énoncées on obtient comme contribution de l'énergie solaire en 2000 III :

# Apport de l'énergie solaire.

Unité : 1 Mth = 10<sup>6</sup> th

| REGIONS           | ECS             |                   | CHAUFFAGE                   |                   | INDUSTRIE | TERTIAIRE | TOTAL  |
|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|-----------|--------|
|                   | Habitat<br>neuf | Habitat<br>ancien | 5 490<br>Individuel<br>neuf | Collectif<br>neuf |           |           |        |
| Région Parisienne | 1 300           | 810               | 1 500                       | 1 310             | 1 100     | 750       | 6 770  |
| Bassin Parisien   | 1 370           | 790               | 3 530                       | 710               | 3 600     | 700       | 10 700 |
| Nord              | 540             | 310               | 1 030                       | 250               | 2 400     | 230       | 4 760  |
| Est               | 680             | 400               | 1 380                       | 280               | 3 900     | 280       | 6 920  |
| Ouest             | 1 750           | 840               | 2 980                       | 310               | 1 700     | 530       | 8 110  |
| Sud-Ouest         | 1 180           | 580               | 1 880                       | 310               | 2 100     | 1 000     | 7 050  |
| Massif Central    | 460             | 250               | 810                         | 140               | 400       | 380       | 2 440  |
| Rhône-Alpes       | 1 040           | 590               | 1 180                       | 450               | 1 500     | 900       | 5 660  |
| Méditerranée      | 2 000           | 920               | 1 480                       | 440               | 1 700     | 610       | 7 150  |
| FRANCE            | 10 320          | 5 490             | 15 770                      | 4 200             | 18 400    | 5 380     | 59 600 |

## II. - POTENTIEL ENERGETIQUE DES DECHETS URBAINS

### I. LES DIFFERENTS PROCEDES DE VALORISATION ENERGETIQUE DES DECHETS URBAINS

Trois moyens, prévus par la réglementation publique, existent pour l'élimination des déchets solides. Les déchets liquides quant à eux, posent un autre type de problème, mais ils peuvent cependant donner lieu lors de leur traitement dans des stations d'épuration, à une production énergétique, par exemple : fermentation anaérobie des boues et autres matières organiques contenues dans les égouts (1). On ne retiendra pas cependant cette filière dans la mesure où elle ne semble pas permettre, en l'état actuel de nos informations, un surplus net de production d'énergie très important par rapport aux propres besoins énergétiques (thermiques et mécaniques) de la station : mais ceci ne signifie pas qu'à l'échelle d'un projet donné, cette solution doive être exclue.

Trois moyens donc pour l'élimination des déchets solides, dans l'hypothèse où le recyclage ou la réutilisation sont exclus :

1/ la décharge contrôlée 2/ le compostage 3/ l'incinération.

Des trois filières, seule l'incinération permet une production directe d'énergie, et le compostage une récupération indirecte, dans la mesure où le compost produit se substitue à des engrais fabriqués à partir de matières premières énergétiques.

Encore faut-il ajouter que l'incinération est une opération énergétiquement intéressante que s'il y a récupération de la chaleur produite.

En fait, la filière de production énergétique citée ici, l'incinération, ne constitue qu'un procédé parmi d'autres de valorisation énergétique des déchets urbains.

Deux chercheurs de l'IEJE ont procédé à un "survey" de ces différents procédés, dans le cadre d'une étude commanditée par l'AEE et la mairie de Grenoble sur la politique énergétique de la région grenobloise (1).

On ne fera, dans cette première section, que reprendre les données essentielles de cette note.

#### 1) HYDROGENERATION

- \* étudiée par le "Bureau of Mines" - Stade expérimental
- \* production d'un fuel-oil de 8 900 TH/t à partir d'injection de vapeur d'eau et de monoxyde de carbone
- \* 1 tonne d'ordures —> 0,08 tep de ce combustible.

#### 2) FERMENTATION ANAEROBIE

- \* méthanisation des déchets
- \* production de 135 m<sup>3</sup> de méthane (0,12 tep) par tonne d'ordures
- \* stade expérimental dépassé, mais manque d'expérience commerciale.

#### 3) DIVERS PROCEDES DE PYROLYSE

3.1. Procédé "Monsanto Langard System" : production de gaz et résidus charbonneux. Rendement 45 % - Production de 0,07 tep par tonne d'ordures.

(1) Pour la petite histoire, on peut signaler aussi que les égouts constituent aux yeux de quelques spécialistes de l'énergie une excellente source « froide » pour les... pompes à chaleur ; cf. sur ce sujet la note sur les pompes à chaleur.

(1) Bruno Lapillonne, avec la collaboration de Patrice Ramain - Juillet 1978. « Note sur la valorisation énergétique des ordures ménagères ». Note interne - 9 pages.



3.2. Procédé "Garett" : production d'une huile lourde de 5 900 th PCI par tonne. Rendement 0,45 - Production de 0,09 tep par tonne d'ordures.

3.3. Procédé "Bureau of Mines" : rendement escompté 65 à 70 % - Stade expérimental.

3.4. Procédé "Andéo-Torraz" : combustion sans tri dans un "gazéifieur". Rendement escompté 70 % - La ville de Grasse s'est équipée d'une usine utilisant ce procédé.

3.5. Procédé "Purox" de l'Union Carbide : production d'un méthane pauvre mais rendement de 0,8. 1 tonne d'ordures produisant 0,16 tep - Stade expérimental.

La conclusion que tirent les deux auteurs de ce survey est que ces procédés ont des points communs : les ordres de grandeur d'énergie récupérée, les incertitudes économiques dues à leur stade expérimental. Par contre, ce qui les différencie consiste en la nature de l'énergie récupérée, la nature des résidus éliminés et les impacts environnementaux.

A côté de ces procédés, en général américains, de pyrolyse, d'incinération ou de méthanisation, une nouvelle technique également au stade de l'expérimentation semble encore plus prometteuse, parce que

— d'application plus large qu'aux seuls déchets urbains (déchets forestiers et agricoles plus ou moins humides) ;

— permettant la production de briquettes de combustible susceptibles de stockage et de combustion dans des chaudières classiques à peine modifiées ;

— susceptibles de présenter les coûts de traitement et de fabrication les plus bas, selon son promoteur et l'ANVAR, qui soutient ce procédé.

## II. LE PROCEDE LOAS

Peu d'informations ont été publiées sur ce procédé : à notre connaissance, un article de Gérard Morice dans « Science et Vie », et quelques flashes dans une série de Journaux ou revues. L'ANVAR, qui a accordé des subventions — en liaison et avec le contrôle de l'AEE — au procédé LOAS, nous a fait parvenir un dossier à son sujet. En France, l'expérience de Laval, citée dans « Science et Vie », rencontrerait un certain nombre de difficultés institutionnelles et techniques. L'AEE pour sa part attend qu'une véritable opération de démonstration, conduite avec un certain nombre de garanties, se mette en place.

Malgré ces incertitudes, on admettra dans la suite de cette note deux hypothèses pour l'horizon 2000 :

— le procédé LOAS arrivera à maturité technique,

— les ordres de grandeur de coût, cités notamment dans le dossier de l'ANVAR et que nous reproduirons plus loin, ont un minimum de crédibilité.

Pour la description technique de ce procédé, on reprendra le schéma présenté dans le numéro de Science et Vie et dans le dossier de l'ANVAR, avec les commentaires de G. Morice.

### Le procédé LOAS

*Une fabrication en « circuit fermé » sans apport calorifique extérieur.*

Le procédé LOAS consiste à provoquer la fermentation des déchets et à soumettre les matières en cours de fermentation à un traitement mécanique de pulvérisation. Le dégagement de chaleur provoqué par la fermentation permet d'éliminer naturellement presque toute l'humidité sans apport calorifique extérieur complémentaire. L'installation de chauffage elle-même est alimentée par les déchets en surplus ou refusés, et par le méthane récupéré lors de la fermentation. Cette combinaison fermentation-pulvérisation facilite la « destructuration » de la matière : celle-ci peut alors être utilisée comme combustible sous sa forme pulvérulente, ou agglomérée pour constituer, en fin de traitement, soit un granulé, soit une briquette. Ce combustible a un bon rendement calorifique et dégage, contrairement à ce qu'on pourrait penser, une agréable odeur végétale.

Du dossier de l'ANVAR, on a extrait les informations suivantes sur le coût du procédé, qui sont encore largement prospectives.

**1 - Comparaison du procédé Combor-Forespac-Loas avec les autres procédés sur la base d'une capacité théorique de 62 000 tonnes/an d'ordures ménagères.**

| Procédé        | Recettes/t | Investissements actualisés | Coûts opératoires hors amortissements |
|----------------|------------|----------------------------|---------------------------------------|
| UNION ELECTRIC | 5 à 12 \$  | 3 à 4 millions \$          | 5 à 8 \$/t                            |
| ECO-FUEL       | 8 à 12 \$  | 7 à 8 millions \$          | 8 à 10 \$/t                           |
| COMBOR (LOAS)  | 16 à 20 \$ | 3 millions \$              | 6 à 7 \$/t                            |
| GARRETT        | 10 à 14 \$ | 8 à 10 millions \$         | 13 à 16 \$/t                          |
| BIOGAS         | 5 à 10 \$  | 6 à 8 millions \$          | 10 à 15 \$/t                          |

Source : J.N. Gony du BRGM - Minéralogie - Orléans - Colloque Energie 77.

**2 - Frais d'investissements du procédé LOAS :**

| Capacité de l'usine | Coût d'investissement en Francs (1) | Frais d'amortissement en Francs/tonne (2) |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| 2 tonnes/heure      | 3 850 000                           | 19.30                                     |
| 4 tonnes/heure      | 6 380 000                           | 16.00                                     |
| 8 tonnes/heure      | 10 060 000                          | 12.60                                     |

Source : Dossier ANVAR (op. cit.).

(1) Sans tenir compte du système de triage à l'amont du procédé.

(2) Amortissement de l'installation en 15 ans et des intérêts de 10,5 %.

**3 - Frais de fonctionnement du procédé LOAS :**

| Capacité de l'usine | Main-d'œuvre (charges incluses) en FF | Entretien en FF | Electricité en FF | Frais de gestion en FF | Prix de fonctionnement en FF |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|------------------------------|
| 2 tonnes/h          | 11.50                                 | 4.0             | 5.80              | 9.60                   | 30.90                        |
| 4 tonnes/h          | 10.00                                 | 4.0             | 5.80              | 9.60                   | 29.40                        |
| 8 tonnes/h          | 7.80                                  | 4.0             | 5.80              | 9.60                   | 27.20                        |

Source : Dossier ANVAR (op. cit.).

**4 - Prix de revient du traitement de la tonne d'ordures :**

| Capacité de l'usine | Frais d'amortissem. en FF/tonne | Prix de fonctionnem. en FF/tonne | Prix de revient en FF/tonne |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 2 tonnes/h          | 19,30                           | 30,90                            | 50,20                       |
| 4 tonnes/h          | 16,00                           | 29,40                            | 45,40                       |
| 8 tonnes/h          | 12,60                           | 27,20                            | 40,80                       |

## 5 - Prix de revient de la tonne de brique :

| Capacité de l'usine | Prix de revient du FORESPAC (LOAS) |
|---------------------|------------------------------------|
| 2 tonnes/heure      | 94 FF/tonne                        |
| 4 tonnes/heure      | 85 FF/tonne                        |
| 8 tonnes/heure      | 77 FF/tonne                        |

Si on intègre les subventions des communes (de 20 à 40 F par tonne d'ordures ménagères), le prix de revient serait diminué de 40 à 80 F par tonne.

## 6 - Prix de vente équivalent à la chaleur libérée :

|                                                   | Fuel domestique | Fuel n° 2 | Charbon | Bois  |
|---------------------------------------------------|-----------------|-----------|---------|-------|
| PCI Kg/cal                                        | 11 000          | 9 700     | 8 000   | 2 000 |
| Prix F/T                                          | 820             | 420       | 700     | 300   |
| Prix K/Thermie                                    | 74,54           | 43,30     | 87,50   | 150   |
| Equivalence F/T<br>FORESPAC (LOAS)<br>PCI = 4 000 | 298,16          | 173,20    | 350     | 600   |

Par comparaison avec le compostage et l'incinération avec et sans récupération de chaleur, le procédé FORESPAC (LOAS) serait celui qui présenterait les plus grands avantages économiques.

**Tableau extrait du dossier de l'ANVAR :**

| Type d'installation<br>Caractéristiques                                          | FORESPAC<br>(LOAS) | COMPOSTAGE            |                           | Incinération<br>sans<br>récupération<br>de chaleur | Incinération<br>avec<br>récupération<br>de chaleur |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                                                                  |                    | Fermentation<br>lente | Fermentation<br>accélérée |                                                    |                                                    |
| Capacité horaire de l'usine (déchets)                                            | 7,5 T/h            | 12,5 T/h              | 12,5 T/h                  | 6 T/h                                              | 6 T/h                                              |
| Nombre d'heures annuel de fonctionnement                                         | 4 800 h            | 2 400 h               | 2 400 h                   | 6 000 h                                            | 6 000 h                                            |
| Capacité annuelle de l'usine (déchets)                                           | 36 000 T/an        | 30 000 T/an           | 30 000 T/an               | 36 000 T/an                                        | 36 000 T/an                                        |
| Tonnage annuel de produits finis                                                 | 19 200 T/an        | 19 500 T/an           | 19 500 T/an               | 0                                                  | 10 kWh                                             |
| Prix du produit fini                                                             | 110 F/T            | 30 F/T                | 30 F/T                    | 0                                                  | 0,10 F/kWh                                         |
| Coût global TTC<br>Amortissement +<br>fonctionnement<br>à la tonne<br>de déchets | 53,23 F            | 50,80 F               | 52,20 F                   | 40,30 F                                            | 50,30 F                                            |
| Dépense globale<br>annuelle                                                      | 1 916 280 F        | 1 524 000 F           | 1 566 000 F               | 1 450 800 F                                        | 1 810 800 F                                        |
| Recette globale<br>annuelle                                                      | 2 112 080 F        | 585 000 F             | 585 000 F                 | 0                                                  | 1 044 000 F                                        |
| BALANCE ANNUELLE                                                                 | + 195 720 F        | — 939 000 F           | — 981 000 F               | — 1 450 800 F                                      | — 766 800 F                                        |

### III. HYPOTHESES ET METHODES D'EVALUATION

Dans le problème posé (évaluation du potentiel énergétique des déchets urbains des villes et agglomérations françaises par ZEATMOD à horizon 2000), l'utilisation du procédé LOAS permet de donner rapidement quelques ordres de grandeur dont la validité dépend essentiellement des deux hypothèses faites dans la deuxième section. Deux hypothèses supplémentaires sont cependant nécessaires.

*Première hypothèse :* on considérera selon des informations de l'ANVAR, que la mise en œuvre de ce procédé n'est pas économique pour des villes inférieures à 50 000 habitants ; on modifiera cette hypothèse en rajoutant à ce premier sous-ensemble les communes de 20-50 000 habitants si elles sont agglomérées à une commune de plus de 50 000 habitants.

On trouvera une estimation des populations concernées par la première hypothèse par tranche de commune et par ZEATMOD dans le tableau ci-dessous (première ligne pour chaque région).

*Deuxième hypothèse :* on supposera, pour tenir compte des interties, qu'il faut plutôt 2,5 tonnes d'ordures que 2,21 pour produire une tonne de brique.

Nos hypothèses optimistes quant au PCS (1) de ces briquettes (4 300 thermies) peuvent être alors maintenues.

Nous emprunterons à Pierre Samalens (2) du Beture l'hypothèse sur les quantités d'ordures collectables par habitant et par jour : 0,850 kg. Ceci permet de calculer les quantités de briquettes productibles à partir de ces ordures collectées. Au total, en 2000, on atteindrait le chiffre de 1,05 Mtep. A ce potentiel énergétique, on peut rajouter, parce que récupérables dans les mêmes zones géographiques et utilisables de la même façon que les briquettes de combustibles, les caoutchoucs et pneumatiques incinérables (3).

Ces deux potentiels sont chiffrés et reproduits dans le deuxième tableau suivant :

#### Evaluation du potentiel énergétique des déchets urbains et des caoutchoucs et pneumatiques par ZEATMOD

| Unité : Mtep finale | Déchets urbains<br>briquettes<br>combustibles | Caoutchouc<br>et pneumatiques | TOTAL<br>Mtep finale |
|---------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Région Parisienne   | 0,41                                          | 0,04                          | 0,45                 |
| Bassin Parisien     | 0,11                                          | 0,05                          | 0,16                 |
| Nord                | 0,05                                          | 0,07                          | 0,12                 |
| Est                 | 0,05                                          | 0,09                          | 0,14                 |
| Ouest               | 0,10                                          | 0,09                          | 0,19                 |
| Sud-Ouest           | 0,06                                          | 0,05                          | 0,11                 |
| Massif Central      | 0,02                                          | 0,03                          | 0,05                 |
| Rhône-Alpes         | 0,01                                          | 0,05                          | 0,15                 |
| Méditerranée        | 0,15                                          | 0,07                          | 0,22                 |
| <b>TOTAL</b>        | <b>1,05</b>                                   | <b>0,54</b>                   | <b>1,59</b>          |

(1) PCS : Pouvoir calorifique supérieur ou quantité de chaleur dégagée par la combustion avec élimination simultanée de l'humidité.

(2) P. Samalens, « La récupération de chaleur dans les usines d'incinération d'ordures ménagères », in Urbanisme n° 164 - Mai-juin 1978, p. 11.

(3) Source : J.P. Bonaldi, Note sur la biomasse.

**Evaluation du potentiel énergétique des déchets urbains par tranche de commune et par ZEATMOD**

Année 2000, Scénario III

| Nombre d'habitants<br>Unité : millions de thermies | Communes<br>rurales | Communes<br>2000-20 000 | Communes<br>20-50 000 | Communes<br>50-100 000 | Communes<br>au-delà de 100 000 | TOTAL  |
|----------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|--------|
| Région Parisienne                                  |                     |                         | 3 095 480<br>1 653    | 1 856 800<br>991       | 2 669 150<br>1 425             | 4 070  |
| Bassin Parisien                                    |                     |                         | 254 530<br>136        | 539 070<br>288         | 1 268 400<br>677               | 1 100  |
| Nord                                               |                     |                         | 314 100<br>168        | 174 250<br>93          | 416 500<br>222                 | 480    |
| Est                                                |                     |                         | 88 570<br>47          | 129 120<br>69          | 774 720<br>413                 | 530    |
| Ouest                                              |                     |                         | 134 360<br>72         | 657 640<br>351         | 1 090 720<br>582               | 1 000  |
| Sud-Ouest                                          |                     |                         | 172 910<br>92         | 275 380<br>147         | 691 260<br>369                 | 610    |
| Massif Central                                     |                     |                         |                       | 120 640<br>65          | 336 400<br>179                 | 240    |
| Rhône-Alpes                                        |                     |                         | 464 320<br>248        | 332 640<br>178         | 1 056 000<br>564               | 990    |
| Méditerranée                                       |                     |                         | 214 290<br>114        | 437 270<br>233         | 2 156 400<br>1 151             | 1 500  |
| TOTAL                                              |                     |                         |                       |                        |                                | 10 520 |

### III. - APPORT DES POMPES A CHALEUR (P.A.C.)

La technologie des pompes à chaleur reste susceptible d'une évolution importante notamment au niveau de la source froide (recours à l'eau et à l'air) et au niveau de la conception des installations (distribution à basse température de la chaleur). C'est pourquoi on a admis un coefficient de multiplication saisonnier de 2,5 qui peut paraître élevé au regard des expérimentations en cours.

On a supposé par ailleurs que les PAC satisferaient les besoins de chauffage et d'ECS de 30 % des logements construits en France après 1975 et de 30 % des nouveaux locaux tertiaires.

Le taux de pénétration a été par ailleurs différenciée selon les régions compte tenu de la meilleure rentabilité des pompes à chaleur en climat froid. On a supposé ainsi une pénétration pondérée par un coefficient de 1,25 dans l'Est, de 0,5 dans le Sud-Ouest et Méditerranée et de 1 pour les autres régions.

Avec ces hypothèses, les installations de pompes à chaleur sont aussi susceptibles d'apporter 4 Mtep d'énergie utile dont 3 Mtep dans le secteur domestique et 1 Mtep dans le secteur tertiaire. La part d'énergie renouvelable représente ainsi une proportion

$$\text{de } \frac{1,5}{2,5} \times 4 \text{ Mtep soit } 2,4 \text{ Mtep.}$$

**Energie utile fournie par les installations de pompes à chaleur.**

| REGION            | Mtep  |
|-------------------|-------|
| Région Parisienne | 0,93  |
| Bassin Parisien   | 0,85  |
| Nord              | 0,33  |
| Est               | 0,53  |
| Ouest             | 0,69  |
| Sud-Ouest         | 0,25  |
| Massif Central    | 0,25  |
| Rhône-Alpes       | 0,45  |
| Méditerranée      | 0,23  |
|                   | <hr/> |
| FRANCE            | 4,50  |

## IV. - APPORT DE L'ENERGIE EOLIENNE

La détermination de l'apport possible de l'énergie éolienne a été définie pour 2000 III en quatre étapes.

### 1) PART DE L'ENERGIE RECUPERABLE

Pour une énergie cinétique brute du vent  $P_b$ , la puissance récupérable,  $P_u$ , est réduite d'un facteur de  $\frac{16}{27}$  pour des raisons de principe (théorème de Betz), d'un facteur de 0,6 à 0,8 du fait du rendement aérodynamique de l'éolienne dans les conditions normales de fonctionnement et d'un facteur de 0,9 pour transformation de l'énergie électrique. D'où une relation dans les conditions moyennes :

$P_{\text{utilisable}} = 0,30 P_b$

énergie utilisable = 0,30 énergie brute

### 2) POTENTIEL D'ENERGIE BRUTE

Il varie de 300 à 1 500 kWh/m<sup>2</sup>/an pour la métropole. Mais ce potentiel est très contrasté selon les régions :

- 1 000 dans la vallée du Rhône et le Languedoc (région Méditerranée)
- 600 en moyenne dans l'Ouest le Nord,
- 450 dans le Bassin Parisien,
- 300 dans le reste de la France,

s'y ajoutent en sus des zones de montagne très favorables (Massif Central et Vosges notamment).

Seules les trois premières régions ont été prises en compte dans le calcul, et les zones montagneuses pour mémoire.

### 3) CHOIX DE L'EOLIENNE

Le modèle de référence est la plus grosse éolienne existant actuellement sur le marché en France, en l'occurrence celle qui doit être installée par Aerowatt à Ouessant.

Ses caractéristiques nominales sont les suivantes :

Puissance :  $P = 100 \text{ KW}$

Hauteur :  $\varnothing = 18 \text{ m}$

Surface des palettes :  $S = 250 \text{ m}^2$

#### 4) POTENTIEL UTILISABLE

Le potentiel technique de l'énergie éolienne est a priori très élevé. Néanmoins, les contraintes de coût, de respect du paysage, de modulation de la fourniture d'électricité réduisent à une petite fraction de ce potentiel technique le potentiel utilisable. En l'état actuel de l'expérimentation, l'estimation de cette fraction est nécessairement arbitraire. Aussi, pour se fixer les idées, a-t-on retenu comme base d'estimation de ce potentiel utilisable :

— une éolienne implantée en moyenne dans chacune des communes de l'Ouest et du Nord, chacune fournissant annuellement 45 MWh pour un flux moyen annuel d'énergie de 600 kWh/m<sup>2</sup> ;

— une éolienne implantée en moyenne dans la moitié des communes de la région Méditerranée pour un flux moyen annuel d'énergie de 1 000 kWh/m<sup>2</sup> ;

— 20 GWh (1) attribués forfaitairement au Massif Central et à l'Est, compte tenu de l'existence de sites éoliens favorables.

Au total, on aboutit ainsi à un potentiel utilisable de 0,4 TWh répartis ainsi :

Unité : GWh (1)

| Région         | Commune | Nombre<br>éoliennes/commune | Energie/éolienne | ENERGIE |
|----------------|---------|-----------------------------|------------------|---------|
| Nord           | 1 552   | 1                           | 0,045            | 70      |
| Ouest          | 4 220   | 1                           | 0,045            | 190     |
| Méditerranée   | 2 499   | 1/2                         | 0,075            | 94      |
| Massif Central |         |                             |                  | 20      |
| Est            |         |                             |                  | 20      |
| ENSEMBLE       |         |                             |                  | 400     |

(1) GWh : giga watt/heure ou 10<sup>9</sup> Wh.



---

**LE PARC D'EQUIPEMENT ELECTRIQUE  
SITUATION 1975  
ET PERSPECTIVES TENDANCIELLES POUR 1985-2000**

---

Cette note tente de résumer les informations disponibles courant 1978 sur la contribution en 1975 des trois sous-ensembles hydraulique, thermique classique et thermique nucléaire, à la production électrique et de leur apport en 1985 et 2000 selon les perspectives officielles ou tendanciennes.

## I. PRODUCTION HYDRAULIQUE

### 1.1. SITUATION EN 1975

Le potentiel technique national de production hydroélectrique est estimé à 100 TWh selon l'inventaire réalisé par EDF en 1953. Une grande partie de ce potentiel était déjà équipé fin 1975 comme l'atteste le tableau ci-dessous. Ce tableau reprend la distinction usuelle entre les trois catégories de centrales : fil de l'eau, éclusée et lac (1). Il définit la productibilité des centrales, c'est-à-dire leur production en année hydrologique moyenne, la production d'une année particulière n'ayant qu'un intérêt conjoncturel.

**Productibilité hydraulique des centrales exploitées par EDF ou par les auto-producteurs raccordés au réseau (2) et production totale en 1975.**

Unité = GWh

| REGION          | Fil de l'eau | Eclusée | Lac    | Producti-<br>bilité | Production |
|-----------------|--------------|---------|--------|---------------------|------------|
| Bassin Parisien | 43           | 117     | 30     | 190                 | 390        |
| Est             | 7 729        | 276     | 272    | 8 280               | 8 780      |
| Ouest           | 588          | 73      | 13     | 670                 | 710        |
| Sud-Ouest       | 3 777        | 2 749   | 2 861  | 9 390               | 10 420     |
| Massif Central  | 135          | 2 188   | 1 507  | 3 830               | 3 670      |
| Rhône-Alpes     | 12 331       | 5 030   | 4 684  | 22 040              | 23 110     |
| Méditerranée    | 11 671       | 657     | 1 569  | 13 900              | 12 610     |
| ENSEMBLE        | 36 270       | 11 090  | 10 940 | 58 300 (2)          | 59 700     |

### 1.2. PERSPECTIVES 1985

Un certain nombre de sites étaient en cours de travaux en 1975. D'autres ont fait l'objet de décisions fermes d'engagement de travaux. L'ensemble de ces sites représente 6240 GWh, ce qui portera la productibilité à un plancher de 64 550 GWh en 1985. Un complément de 1 000 GWh pourrait éventuellement être engagé en sus (projet Isère moyenne, etc.).

(1) Distinction fondée sur les catégories de durée de remplissage des réservoirs pour un débit moyen : moins de 2 heures, de 2 à 400 heures, plus de 400 heures.

(2) Les autoproductions industrielles non raccordées au réseau disposent en outre, de 1 400 GWh de productibilité, dont 500 dans le Sud-Ouest et 300 dans Rhône-Alpes.

En outre, il faut signaler l'apparition de l'hydraulique de pompage qui ne représentera pas moins de 3 470 MW (1) de puissance de pointe en 1985. Un complément de 600 MW pourrait éventuellement être réalisé d'ici là (projet Super Bissorte dans Rhône-Alpes).

#### Productibilité de l'hydraulique gravitaire et puissance de pompage installée en 1985.

Unités : GWh et MW

| REGION          | Productibilité | Pompage  |
|-----------------|----------------|----------|
| Bassin Parisien | 190            | —        |
| Est             | 8 620          | —        |
|                 | 670            | —        |
| Sud-Ouest       | 9 780          | 900      |
| Massif Central  | 3 880          | —        |
| Rhône-Alpes     | 26 580         | 2 570    |
| Méditerranée    | 54 630         | —        |
| ENSEMBLE        | 64 550 (2) GWh | 3 470 MW |

(2) dont 200 non répartis et non compris les 1 400 GWh hors réseau en 1975.

### 1.3. PERSPECTIVE 2000

De nouveaux sites pourront être équipés entre 1985 et 2000 :

— en hydraulique gravitaire, quelques milliers de GWh sont encore réalisables selon les conditions économiques et les contraintes d'environnement retenues ;

— en hydraulique de pompage, l'importance des projets dépendra notamment de la montée du nucléaire dans le monotone de demande créant ainsi une énergie excédentaire en heure creuse : un inventaire des sites de pompage est actuellement en cours de réalisation ;

— à signaler en sus le projet d'usine marémotrice de la baie du Mont-Saint-Michel (25 000 GWh) qui mérite un plus ample examen.

## II. PRODUCTION THERMIQUE CLASSIQUE

### 2.1. SITUATION 1975

Fin 1975 le parc de production thermique classique se répartissait ainsi entre les divers exploitants (en MW de Puissance installée) :

|                                     |                                                                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| EDF                                 | 19 090 MW (+ 590 MW concernant trois centrales<br>déclassées en réserve : D.R.) |
| Houillères                          | 4 050 MW                                                                        |
| Sidérurgie et<br>industriels divers | 4 220 MW                                                                        |
|                                     | <hr/> 27 360 MW                                                                 |

(1) MW : mégawatt ou 10<sup>6</sup> W.

Cette capacité de production peut aussi être ventilée selon les régions.

Unité : MW de Puissance installée.

| REGION            | EDF (1) | CDF   | INDUSTRIE (2) |           | TOTAL  |
|-------------------|---------|-------|---------------|-----------|--------|
|                   |         |       | réseau        | autonomes |        |
| Région Parisienne | 6 797   | —     | 93            | 340       | 7 230  |
| Bassin Parisien   | 2 926   | 330   | 293           | 896       | 4 445  |
| Nord              | 2 112   | 1 655 | —             | 383       | 4 150  |
| Est               | 1 724   | 1 120 | 574           | 628       | 4 046  |
| Ouest             | 1 450   | —     | —             | 85        | 1 535  |
| Sud-Ouest         | 2 080   | 120   | —             | 186       | 2 386  |
| Massif Central    | —       | 46    | —             | 34        | 80     |
| Rhône-Alpes       | 1 000   | 242   | 7             | 314       | 1 563  |
| Méditerranée      | 1 000   | 541   | —             | 377       | 1 918  |
| ENSEMBLE          | 19 090  | 4 054 | 967           | 3 254     | 27 360 |

(1) Puissance Continue Nette (PCN) pour les centrales EDF.

(2) Les centrales industrielles se répartissent entre centrales raccordées au réseau et centrales autonomes.

Source : EDF et DIGEC

On peut ventiler par ailleurs la production nette selon les régions :

Unité : GWh

| REGION            | EDF    | CDF    | INDUSTRIE |          | TOTAL   |
|-------------------|--------|--------|-----------|----------|---------|
|                   |        |        | réseau    | autonome |         |
| Région Parisienne | 24 722 | —      | 150       | 471      | 25 343  |
| Bassin Parisien   | 9 991  | 1 449  | 2 031     | 1 955    | 15 428  |
| Nord              | 10 506 | 4 961  | —         | 1 167    | 16 634  |
| Est               | 6 734  | 3 495  | 2 207     | 2 110    | 14 546  |
| Ouest             | 6 021  | —      | —         | 176      | 6 197   |
| Sud-Ouest         | 11 167 | 272    | —         | 742      | 12 182  |
| Massif Central    | —      | 43     | —         | 116      | 159     |
| Rhône-Alpes       | 3 841  | 226    | 24        | 1 341    | 5 432   |
| Méditerranée      | 4 182  | 1 732  | 1         | 1 230    | 7 145   |
| ENSEMBLE          | 77 164 | 12 178 | 4 413     | 9 308    | 103 063 |

Source : DIGEC

## 2.2. PERSPECTIVES 1985 ET 2000

Diverses modifications sont intervenues depuis 1975. Elles concernent :

- la mise en service de la centrale de Cordemais ( $2 \times 685$  MW) dans l'Ouest,
- la mise en service de la centrale d'Aramon ( $2 \times 685$  MW) en zone méditerranéenne,
- et diverses modifications mineures.

Elles accroissent la puissance continue nette installée des centrales EDF de 2 617 MW, portant l'ensemble à 21 707 MW au 1/01/78.

Par ailleurs, deux tranches de thermique classique au charbon sont actuellement engagées : l'une à Carling dans l'Est, l'autre au Havre dans le Bassin Parisien. Chacune de ces tranches a une puissance de 600 MW.

Outre ces mises en service et engagements, la configuration du parc thermique classique en 1985 et 2000 dépendra essentiellement du rythme de déclassement des centrales existantes et des engagements éventuels de construction d'autres tranches de thermique charbon ou de turbines à gaz. Ces engagements et déclassements de tranche seront, quant à eux, fonction de l'évolution de la demande et de la contribution effective du nucléaire, elle-même étant liée au rythme de construction des tranches et à leur disponibilité de fonctionnement.

## III. PRODUCTION THERMIQUE NUCLEAIRE

### 3.1. SITUATION EN 1975

En 1975, quatre zones étaient concernées par la production d'électricité nucléaire :

Unités : MW et GWh

| REGION          | Puissance<br>(PCN) | Production |
|-----------------|--------------------|------------|
| Bassin Parisien | 1 665              | 10 331     |
| Ouest           | 70                 | 505        |
| Rhône-Alpes     | 540                | 2 768      |
| Méditerranée    | 313                | 1 832      |
| ENSEMBLE        | 2 590              | 15 436     |

Source : EDF et DIGEC

### 3.2. PERSPECTIVES 1985 ET 2000

Les engagements pris en cours de l'année 1978 doivent normalement conduire à la répartition régionale suivante de la puissance nucléaire installée courant 1985.

Unité = 1 MW

| REGION            | PUISSANCE |
|-------------------|-----------|
| Bassin Parisien   | 14 060    |
| Région Parisienne | —         |
| Nord              | 3 600     |
| Est               | 3 100     |
| Ouest             | 70        |
| Sud-Ouest         | 3 600     |
| Massif Central    | —         |
| Rhône-Alpes       | 12 640    |
| Méditerranée      | 310       |
| ENSEMBLE          | 37 400 MW |

Ces engagements ne couvrant pas les centrales devant être mises en service après 1985, la seule référence officielle concerne les sites et ne préjuge pas de la puissance installée à l'horizon 2000.

#### IV. MOUVEMENTS INTERNATIONAUX D'ENERGIE

##### 4.1. SITUATION EN 1975

Des échanges ont eu lieu avec tous les pays aux frontières. Le tableau ci-dessous indique le solde de ces échanges.

Unités : GWh

| REGION       | Importation nette | Exportation nette |
|--------------|-------------------|-------------------|
| Nord         | 2 901             |                   |
| Est          |                   | 6                 |
| Sud-Ouest    | 408               |                   |
| Rhône-Alpes  |                   | 706               |
| Méditerranée |                   | 98                |
| ENSEMBLE     | 3 309             | 810               |

Source : DIGEC

##### 4.2. PERSPECTIVES 1985 ET 2000

Le solde des échanges à venir dépendra d'ajustements imprévisibles à l'heure actuelle. Toutefois, on peut être assuré que les échanges réciproques s'intensifieront notamment avec la pose d'un câble France-Angleterre de 2 000 MW.

---

**CONSTRUCTION DES BILANS EN ENERGIE PRIMAIRE  
HYPOTHESES ET RESULTATS**

---

Il a semblé justifié de respecter la tradition qui consiste à construire des bilans en énergie primaire au seul niveau national. En effet :

— ces bilans ont d'autant moins de sens au niveau régional qu'en toute hypothèse, l'approvisionnement extérieur de la France restera prépondérant dans ce long terme ;  
— le passage des bilans en énergie finale aux bilans en énergie primaire suppose de nombreuses hypothèses sur les pertes de transformation et de distribution de l'énergie et notamment, sur leur imputation aux différentes régions. Le caractère fortement centralisé du système énergétique laisserait de toute manière cette imputation très arbitraire.

On se limite, dans les pages qui suivent, à un rappel sommaire des principales hypothèses de construction des bilans primaires au niveau national et à la présentation des résultats obtenus.

## **I. HYPOTHESES ET CONVENTIONS DES BILANS EN ENERGIE PRIMAIRE**

### **1.1. DEFINITION**

En schématisant quelque peu, le passage de la demande en énergie finale à la demande en énergie primaire est obtenu par agrégation des quatre postes suivants :

1. *Total consommation-finale*. Ce poste inclut par convention les pertes de transport de l'électricité,
2. *Pertes de transport-distribution* de l'énergie sous forme finale,
3. *Pertes de transformation du secteur énergétique*. Pour l'essentiel, il s'agit des raffineries, des cokeries et des centrales thermiques,
4. *Pertes de production ou extraction de l'énergie primaire*. Il s'agit de l'autoconsommation des mines de houilles et lignite, de l'autoconsommation de l'extraction des hydrocarbures (gaz et pétrole), et des consommations des usines d'enrichissement.

### **1.2. CONVENTIONS COMPTABLES**

1.2.1. La construction des bilans en énergie primaire concerne essentiellement l'évaluation de pertes énergétiques à différents niveaux. En pratique, cette évaluation repose sur l'application des taux spécifiques des pertes aux montants des consommations en énergie finale.

Ces taux résultent d'hypothèses sur les filières du secteur énergétique à l'horizon de définition des bilans, sur la structure de l'approvisionnement en énergie primaire, et éventuellement sur l'évolution des différents taux de pertes dans les filières concernées : on suppose ainsi des taux légèrement inférieurs pour le scénario III, où la politique d'économies d'énergie est supposée plus active.

1.2.2. C'est en fait essentiellement à un problème d'unité de mesure et de choix de coefficients d'équivalence que l'on se heurte lorsqu'on doit évaluer les pertes du secteur énergétique. Ces problèmes concernent tout particulièrement les pertes des centrales thermiques ; deux systèmes de comptabilisation existent, chacun avec leurs avantages et inconvénients respectifs.

*Premier système.* Dans la présentation des bilans officiels français, les conventions retenues conduisent à comptabiliser les pertes des centrales thermiques non pas comme la différence entre :

- 1°) la valeur calorifique des combustibles consommés en centrale et



Tableau récapitulatif des pertes du secteur énergétique (passage bilan final à bilan primaire)

| * équivalence sur la base de 1 TWh = 0,222 Mtep. | 1975 **    |              |            | 1985 ** s2 |              |            | 2000 s1    |              |            | 2000 s2    |              |            | 2000 s3    |              |            |
|--------------------------------------------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|
|                                                  | COMB. Mtep | * ELEC. Mtep | TOTAL Mtep | COMB. Mtep | * ELEC. Mtep | TOTAL Mtep | COMB. Mtep | * ELEC. Mtep | TOTAL Mtep | COMB. Mtep | * ELEC. Mtep | TOTAL Mtep | COMB. Mtep | * ELEC. Mtep | TOTAL Mtep |
| 1. PERTES DE TRANSPORT-DISTRIBUTION              |            |              |            |            |              |            |            |              |            |            |              |            |            |              |            |
| 1.1. Combustibles                                | 1,4        | —            | 1,4        | 1,2        | —            | 1,2        | 1,86       | —            | 1,86       | 1,57       | —            | 1,57       | 0,85       | —            | 0,85       |
| 1.2. Electricité ****                            | —          | 2,78         | 2,78       | —          | 4,85         | 4,85       | —          | 8,15         | 8,15       | —          | 9,18         | 9,18       | —          | 6,23         | 6,23       |
| 2. PERTES DE TRANSFORMATION                      |            |              |            |            |              |            |            |              |            |            |              |            |            |              |            |
| 2.1. Raffineries ***                             | 6,9        | 0,48         | 7,38       | 6,3        | 0,4          | 6,7        | 9,45       | 0,6          | 10,05      | 9,45       | 0,6          | 10,05      | 5,52       | 0,4          | 5,92       |
| 2.2. Centr. Therm. classiques                    | 4,7        | —            | 4,7        | 0,76       | —            | 0,76       | 1,18       | —            | 1,18       | 1,18       | —            | 1,18       | 1,18       | —            | 1,18       |
| 2.3. Cokeries                                    | 1,4        | 0,1          | 1,5        | 1,4        | 0,1          | 1,5        | 0,84       | 0,06         | 0,9        | 0,93       | 0,07         | 1          | 1,15       | 0,08         | 1,23       |
| 3. PERTES EXTRACTION-PRODUCTION                  |            |              |            |            |              |            |            |              |            |            |              |            |            |              |            |
| 3.1. Combustibles                                | 0,4        | 0,45         | 0,85       | 0,24       | 0,28         | 0,52       | 0,12       | 0,13         | 0,25       | 0,13       | 0,15         | 0,28       | 0,16       | 0,17         | 0,33       |
| 3.2. Enrichissement                              | —          | —            | —          | —          | 5,56         | 5,56       | —          | 5,56         | 5,56       | —          | 11,12        | 11,12      | —          | 5,56         | 5,56       |
| TOTAL GENERAL<br>1 + 2 + 3                       | 14,8       | 3,81         | 18,61      | 9,90       | 11,19        | 21,09      | 13,45      | 14,50        | 27,95      | 13,26      | 21,12        | 34,38      | 8,86       | 12,44        | 21,30      |

\*\* Rappel estimations officielles 1975 : 20 Mtep - 1985 : 24,5 Mtep.

\*\*\* Auto-production électricité déduite.

\*\*\*\* Comptabilisée au niveau des bilans régionaux en énergie finale.

2°) la valeur calorifique de l'électricité produite

mais comme la différence entre :

- a) la valeur calorifique des combustibles consommés en centrale et
- b) la valeur théorique de l'électricité produite résultant de l'équivalence :  
 $1 \text{ TWh} = 0,222 \text{ Mtep}$ .

*Deuxième système : La méthode dite du contenu énergétique (1).*

On empruntera à P. Ramain une définition rapide de cette méthode et de ses conséquences sur la construction des bilans énergétiques.

« Le bilan doit être construit de manière à respecter le principe de la conservation de l'énergie : à quelque niveau que ce soit, la quantité d'énergie entrante sera égale à l'énergie sortante augmentée des pertes. Il faut pour cela une commune mesure, et le plus simple (et non l'unique manière de faire) consiste à recourir pour chaque forme d'énergie à son potentiel d'énergie physique, ou contenu énergétique, par l'intermédiaire du pouvoir calorifique (qui ne lui est pas toujours strictement égal). Toutes les énergies primaires sont exprimées selon ce principe, notamment l'énergie électrique primaire ; le kWh ex-hydraulique est égal à 80 Kcal, le kWh ex-nucléaire également, à moins de considérer la chaleur nécessaire à sa production, ou encore le potentiel énergétique du minerai d'uranium (ce qui n'irait pas sans difficultés) ».

Concrètement, les choix les plus cohérents avec l'esprit de cette méthode consistent à :

- comptabiliser, pour l'électronucléaire, la chaleur dégagée par la fission de l'uranium comme étant la somme de l'électricité produite (mesurée à son pouvoir calorifique) et des pertes au condenseur (mesurées à leur pouvoir calorifique) ;
- comptabiliser l'hydroélectricité selon la valeur calorifique de l'électricité produite.

La réflexion méthodologique sur le cadre comptable approprié aux bilans en énergie primaire ne concernant pas précisément cette étude, il a été convenu de conserver, malgré la plus grande rigueur de la deuxième méthode, le principe de la méthode officielle. Ce choix aboutit en particulier à une relative surestimation de la contribution de l'électricité thermique classique et nucléaire.

### 1.3. PERTES DU SECTEUR ENERGETIQUE

Elles sont récapitulées dans le tableau ci-contre. Il faut noter plus particulièrement l'importance des pertes dans le transport de l'électricité, l'enrichissement de l'uranium et le raffinage des hydrocarbures. On peut rappeler par ailleurs que le système comptable en vigueur masque les pertes de transformation thermodynamiques dans les centrales thermiques classiques et nucléaires en sur-évaluant la contribution de l'électricité par le jeu des équivalences.

## II. COMMENTAIRES SUR LES BILANS EN ENERGIE PRIMAIRE

On ne mentionnera ici les résultats du scénario II de l'année 1985 que pour mémoire, dans la mesure où il a été convenu de ne pas chercher à définir cette période de transition pour le scénario III, et où les résultats du scénario I diffèrent peu de ceux du scénario II pour cette date.

Les hypothèses de construction de ce scénario II ont été prises pour l'essentiel dans les travaux du 7<sup>e</sup> Plan. On a cependant tenu compte de l'évolution plus lente de la demande énergétique du fait de la crise économique, et du retard accumulé dans l'avancement du programme nucléaire conduisant à 208 TWh en 1985 au lieu des 250 TWh prévus.

Pour l'année 2000, les situations sont nettement plus contrastées, notamment entre les scénarios I et II d'une part, et le scénario III d'autre part, tel que cela apparaît dans le tableau suivant.

(1) P. Ramain, « Réflexions critiques sur les bilans énergétiques ». - CNRS - Collection Energie et Société, 1977, p. 49.

# Evolution de la structure des approvisionnements énergétiques selon leur origine spatiale.

|                               | 1975   | 1985 II | 2000 I | 2000 II | 2000 III |
|-------------------------------|--------|---------|--------|---------|----------|
| Consommation primaire en Mtep | 163    | 208     | 328    | 326     | 238      |
| Approvisionnement total       | 100 %  | 100 %   | 100 %  | 100 %   | 100 %    |
| Approvisionnement local       | 23 %   | 15 %    | 8 %    | 10 %    | 19 %     |
| Approvisionnement national    | 1,5 %  | 23 %    | 27 %   | 32,5 %  | 21 %     |
| Approvisionnement importé     | 75,5 % | 62 %    | 65 %   | 57,5 %  | 60 %     |

La lecture de ce tableau appelle les commentaires suivants. On observe :

- un déclin de la contribution en valeur relative des énergies locales dans les approvisionnements entre 1975 et 2000 I ou 2000 II. Ce déclin est presque compensé totalement dans le scénario III (en valeur absolue, 45 Mtep au lieu des 37 en 1975). Mais il convient de nuancer la portée de cette comparaison dans la mesure où sont comptabilisées comme formes d'énergie locales la cogénération industrielle et la production combinée urbaine alors qu'elles consomment des combustibles nationaux ou importés,
- un accroissement considérable de l'approvisionnement national représenté par l'électronucléaire surtout dans le scénario II, qui passe de moins de 2 % du bilan primaire en 1975 à plus de 32 % en 2000. Il est à noter que le niveau de 2000 III est inférieur à celui de 1985 II en pourcentage, mais non en valeur absolue (1985 = 208 Twh, 2000 III = 224 Twh).
- un maintien à plus de 50 % du taux de dépendance quel que soit le scénario.

On remarquera que le scénario II offre à quelques points près, par rapport au scénario III, le taux de dépendance le plus faible. Ce résultat doit être nuancé, voire contredit, par les deux observations suivantes :

- d'une part, ce résultat n'est pas le même en valeur absolue, puisque, dans scénario II, on importerait 187 Mtep au lieu des 143 Mtep du scénario III,
- d'autre part, ce résultat est lié aux conventions retenues dans le choix des coefficients d'équivalence ; il suffirait d'explicitier dans ces bilans les pertes, notamment des centrales thermiques nucléaires, pour s'apercevoir que l'essentiel (2/3) de cette énergie nationale qu'est l'électronucléaire, se dégrade en pertes de chaleur à 30° au condenseur de ces centrales.

En prenant l'énergie nette (électricité) fournie au consommateur final comptabilisée à sa valeur calorifique (1 Twh = 0,086 Mtep), on verrait que les conclusions sont inversées quant au taux de dépendance entre les scénarios II et III.

En définitive, si l'on met de côté provisoirement les résultats obtenus en valeur absolue, on est plutôt frappé par la ressemblance des taux de dépendance pour les trois scénarios en 2000. Cette proximité des degrés d'autonomie, en particulier dans les scénarios II et III, recouvre en fait des orientations structurelles contrastées :

- d'une part, dans le scénario II, un apport important de l'énergie nationale qu'est le nucléaire avec peu d'énergies nouvelles,
- d'autre part, dans le scénario III, une contribution très significative des énergies nouvelles, donc locales, au bilan global, mais avec un électronucléaire deux fois moins important que dans le scénario II.

On trouvera ci-après l'ensemble des bilans primaires nationaux obtenus.

# BILAN EN ENERGIE PRIMAIRE

| FRANCE                 |                                                       | ANNEE : 1975                  | SCENARIO :            | Unité : 1 MTEP = 4,5 TWH |       |
|------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| CONSOMMATION           |                                                       | Combustibles<br>Hydrocarbures | Energies<br>nouvelles | Electricité              | TOTAL |
|                        | Industries et BTP                                     | 38,4                          | —                     | 17,0                     | 55    |
|                        | Résidentiel-Tertiaire                                 | 39,4                          | —                     | 15,0                     | 54    |
|                        | Agriculture                                           | 2,4                           | —                     | 0,3                      | 3     |
|                        | Transports                                            | 30,2                          | —                     | 1,6                      | 32    |
|                        | TOT. UTILISATIONS FIN.                                | 110,4                         | —                     | 33,9                     | 144   |
|                        | Pertes Transp. Elec.                                  | —                             | —                     | 2,8                      | 3     |
|                        | TOT. CONSOM. FINALE                                   | 110,4                         | —                     | 36,7                     | 147   |
|                        | Pertes et auto-consommation<br>du secteur énergétique | 14,8                          | —                     | 1,0                      | 16    |
| TOT. CONSOM. PRIMAIRE  |                                                       | 125                           | —                     | 38                       | 163   |
| APPROVISION-<br>NEMENT | LOCAL                                                 | 23,4                          | —                     | 13,3                     | 37    |
|                        | NATIONAL                                              | —                             | —                     | 3,4                      | 3     |
|                        | IMPORTE                                               | 101,8                         | —                     | 21,0                     | 123   |

# BILAN EN ENERGIE PRIMAIRE

| FRANCE                 |                                                       | ANNEE : 1985                  | SCENARIO : II         | Unité : 1 MTEP = 4,5 TWH |       |
|------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| CONSOMMATION           |                                                       | Combustibles<br>Hydrocarbures | Energies<br>nouvelles | Electricité              | TOTAL |
|                        | Industries et BTP                                     | 46,7                          | 0,6                   | 25,6                     | 73    |
|                        | Résidentiel-Tertiaire                                 | 37,9                          | 2,6                   | 30,7                     | 71    |
|                        | Agriculture                                           | 3,0                           | —                     | 0,4                      | 4     |
|                        | Transports                                            | 37,1                          | —                     | 2,1                      | 39    |
|                        | TOT. UTILISATIONS FIN.                                | 124,7                         | 3,2                   | 58,8                     | 187   |
|                        | Pertes Transp. Elec.                                  | —                             | —                     | 4,9                      | 5     |
|                        | TOT. CONSOM. FINALE                                   | 124,7                         | 3,2                   | 63,7                     | 192   |
|                        | Pertes et auto-consommation<br>du secteur énergétique | 9,9                           | —                     | 6,3                      | 16    |
| TOT. CONSOM. PRIMAIRE  |                                                       | 135                           | 3                     | 70                       | 208   |
| APPROVISION-<br>NEMENT | LOCAL                                                 | 14,4                          | 3,2                   | 14,7                     | 32    |
|                        | NATIONAL                                              | —                             | —                     | 46,3                     | 47    |
|                        | IMPORTE                                               | 120,2                         | —                     | 9,1                      | 129   |

# BILAN EN ENERGIE PRIMAIRE

| FRANCE                 |                                                       | ANNEE : 2000                  | SCENARIO : I          | Unité : 1 MTEP = 4,5 TWH |       |
|------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| CONSUMMATION           |                                                       | Combustibles<br>Hydrocarbures | Energies<br>nouvelles | Electricité              | TOTAL |
|                        | Industries et BTP                                     | 76,5                          | 0,4                   | 46,3                     | 123   |
|                        | Résidentiel-Tertiaire                                 | 48,8                          | 3,6                   | 50,3                     | 103   |
|                        | Agriculture                                           | 5,8                           | —                     | 0,9                      | 7     |
|                        | Transports                                            | 64,3                          | —                     | 2,7                      | 67    |
|                        | TOT. UTILISATIONS FIN.                                | 195,4                         | 4,0                   | 100,2                    | 300   |
|                        | Pertes Transp. Elec.                                  | —                             | —                     | 8,2                      | 8     |
|                        | TOT. CONSOM. FINALE                                   | 195,4                         | 4,0                   | 108,4                    | 308   |
|                        | Pertes et auto-consommation<br>du secteur énergétique | 13,4                          | —                     | 6,4                      | 20    |
| TOT. CONSOM. PRIMAIRE  |                                                       | 209                           | 4,0                   | 115                      | 328   |
| APPROVISION-<br>NEMENT | LOCAL                                                 | 6,9                           | 4,0                   | 14,7                     | 26    |
|                        | NATIONAL                                              | —                             | —                     | 88,3                     | 89    |
|                        | IMPORTE                                               | 202,0                         | —                     | 11,8                     | 213   |

# BILAN EN ENERGIE PRIMAIRE

| FRANCE                 |                                                       | ANNEE 2000 :                  | SCENARIO : II         | Unité : 1 MTEP = 4,5 TWH |       |
|------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| CONSUMMATION           |                                                       | Combustibles<br>Hydrocarbures | Energies<br>nouvelles | Electricité              | TOTAL |
|                        | Industries et BTP                                     | 79,2                          | 1,4                   | 57,8                     | 138   |
|                        | Résidentiel-Tertiaire                                 | 34,6                          | 8,3                   | 50,1                     | 93    |
|                        | Agriculture                                           | 4,9                           | —                     | 0,7                      | 6     |
|                        | Transports                                            | 51,3                          | —                     | 3,4                      | 55    |
|                        | TOT. UTILISATIONS FIN.                                | 170,0                         | 9,7                   | 112,0                    | 292   |
|                        | Pertes Transp. Elec.                                  | —                             | —                     | 9,2                      | 9     |
|                        | TOT. CONSOM. FINALE                                   | 170,0                         | 9,7                   | 121,2                    | 301   |
|                        | Pertes et auto-consommation<br>du secteur énergétique | 13,3                          | —                     | 11,9                     | 25    |
| TOT. CONSOM. PRIMAIRE  |                                                       | 183                           | 10                    | 133                      | 326   |
| APPROVISION-<br>NEMENT | LOCAL                                                 | 7,8                           | 9,7                   | 15,6                     | 33    |
|                        | NATIONAL                                              | —                             | —                     | 105,8                    | 106   |
|                        | IMPORTE                                               | 175,5                         | —                     | 11,8                     | 187   |

# BILAN EN ENERGIE PRIMAIRE

| FRANCE                                                |                        | ANNEE : 2000                  | SCENARIO : III        | Unité : 1 MTEP = 4,5 TWH |       |
|-------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| CONSOMMATION                                          |                        | Combustibles<br>Hydrocarbures | Energies<br>nouvelles | Electricité              | TOTAL |
|                                                       | Industries et BTP      | 62,5                          | 3,7                   | 32,7                     | 99    |
|                                                       | Résidentiel-Tertiaire  | 31,7                          | 15,1                  | 29,4                     | 76    |
|                                                       | Agriculture            | 3,1                           | —                     | 0,5                      | 4     |
|                                                       | Transports             | 33,9                          | —                     | 3,7                      | 38    |
|                                                       | TOT. UTILISATIONS FIN. | 131,2                         | 18,8                  | 66,3                     | 217   |
|                                                       | Pertes Transp. Elec.   | —                             | —                     | 6,2                      | 6     |
|                                                       | TOT. CONSOM. FINALE    | 131,2                         | 18,8                  | 72,5                     | 223   |
| Pertes et auto-consommation<br>du secteur énergétique |                        | 8,9                           | —                     | 6,2                      | 15    |
| TOT. CONSOM. PRIMAIRE                                 |                        | 140                           | 19                    | 7,9                      | 238   |
| APPROVISION-<br>NEMENT                                | LOCAL                  | 9,1                           | 18,8                  | 17,0                     | 45    |
|                                                       | NATIONAL               |                               | —                     | 40,9                     | 50    |
|                                                       | IMPORTE                | 131,0                         | —                     | 11,8                     | 143   |

# Table des matières

|                                                                                                                           | <u>Pages</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Introduction</b> .....                                                                                                 | <b>3</b>     |
| I. Quel rôle le prix de l'énergie joue-t-il dans le développement régional ? .....                                        | <b>3</b>     |
| II. Comment maîtriser les conséquences sur l'environnement du développement rapide des installations énergétiques ? ..... | <b>5</b>     |
| III. Quelle peut-être l'influence de l'allocation spatiale des activités sur les consommations énergétiques ? .....       | <b>6</b>     |
| IV. Quel peut-être l'apport des énergies locales dans les différents types d'espace ? .....                               | <b>6</b>     |
| <br><b>CHAPITRE I. - LE CADRE DE L'ETUDE ET LA DEMARCHE SUIVIE</b>                                                        |              |
| <b>I. LE CADRE TEMPOREL ET LE CADRE SPATIAL</b> .....                                                                     | <b>9</b>     |
| <b>I. LE CADRE TEMPOREL ET LE CADRE SPATIAL</b> .....                                                                     | <b>10</b>    |
| I.1. Le cadre temporel .....                                                                                              | <b>10</b>    |
| I.2. Le cadre spatial .....                                                                                               | <b>12</b>    |
| <b>II. LES SCENARIOS UTILISES</b> .....                                                                                   | <b>14</b>    |
| II.1. Des scénarios de société aux scénarios régionaux d'emploi dans l'étude Futuribles .....                             | <b>16</b>    |
| II.2. L'association de scénarios énergétiques aux scénarios de société .....                                              | <b>20</b>    |
| II.3. Les hypothèses d'évolution des prix de l'énergie compatibles avec les trois scénarios .....                         | <b>22</b>    |
| <b>Conclusions du chapitre I</b> .....                                                                                    | <b>25</b>    |
| <br><b>CHAPITRE II. - LA DEMANDE D'ENERGIE</b>                                                                            |              |
| <b>I. LES CATEGORIES DE LA DEMANDE : LES SECTEURS UTILISATEURS, LES FORMES ET LES USAGES ENERGETIQUES</b> .....           | <b>29</b>    |
| I.1. Les branches et les secteurs économiques .....                                                                       | <b>30</b>    |
| I.2. Les formes d'énergie et les usages énergétiques .....                                                                | <b>31</b>    |
| <b>II. LA METHODE DE PREVISION DE LA DEMANDE</b> .....                                                                    | <b>33</b>    |
| II.1. Le modèle de simulation .....                                                                                       | <b>33</b>    |
| II.2. Les coefficients et les paramètres du modèle de simulation .....                                                    | <b>36</b>    |
| <b>III. LES PREVISIONS DE CONSOMMATIONS D'ENERGIE A L'HORIZON 1985 ET 2000</b> .....                                      | <b>43</b>    |
| III.1. Les résultats d'ensemble .....                                                                                     | <b>44</b>    |
|                                                                                                                           | <b>241</b>   |

|                                                                                                                                                  | Pages |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| III.2. Les résultats par forme d'énergie .....                                                                                                   | 52    |
| III.3. Résumé de l'analyse des prévisions de consommation d'énergie .....                                                                        | 58    |
| <br><b>CHAPITRE III. - L'OFFRE D'ENERGIE</b>                                                                                                     |       |
| I. LES CATEGORIES DE L'OFFRE .....                                                                                                               | 65    |
| I.1. Les différentes formes d'énergie .....                                                                                                      | 65    |
| I.2. Les trois espaces d'approvisionnement .....                                                                                                 | 66    |
| II. CONSTRUCTION DES SCENARIOS D'OFFRE A PARTIR DES<br>ENERGIES LOCALES ET REGIONALES .....                                                      | 69    |
| II.1. Articulation des procédures de chiffrage de l'offre et de la demande .....                                                                 | 69    |
| II.2. Procédure de chiffrage de l'offre .....                                                                                                    | 69    |
| II.3. Conditions de pénétration des énergies locales et régionales .....                                                                         | 71    |
| II.4. Les sources locales et régionales de combustibles classiques .....                                                                         | 73    |
| II.5. Les sources locales et régionales d'électricité .....                                                                                      | 73    |
| II.6. Les sources locales et régionales en énergies nouvelles : le cas du scénario III .....                                                     | 74    |
| III. L'APPORT DES ENERGIES LOCALES ET REGIONALES DANS LES<br>SCENARIOS D'OFFRE .....                                                             | 76    |
| III.1. Contribution globale des énergies locales et régionales dans l'approvisionnement énergétique .....                                        | 76    |
| III.2. Différenciation spatiale de la pénétration des énergies locales et régionales .....                                                       | 79    |
| IV. BOUCLAGE DES BILANS REGIONAUX ET NATIONAUX EN<br>ENERGIE FINALE .....                                                                        | 86    |
| IV.1. Le bouclage des bilans régionaux et nationaux en énergie finale .....                                                                      | 87    |
| IV.2. Bilans électriques nationaux .....                                                                                                         | 90    |
| IV.3. La localisation des centrales thermiques et ses conséquences sur les bilans électriques régionaux .....                                    | 93    |
| <br><b>Conclusion</b>                                                                                                                            |       |
| I. Les résultats d'offre et demande en énergie finale au regard des hypothèses de chaque scénario .....                                          | 96    |
| II. Comparaison des perspectives d'approvisionnement en énergie primaire au niveau national avec celles du Plan .....                            | 98    |
| <br><b>ANNEXES</b>                                                                                                                               |       |
| Annexe I - LES BILANS OFFRE-DEMANDE D'ENERGIE FINALE PAR REGION<br>ET PAR SCENARIO .....                                                         | 103   |
| Annexe II - LES VALEURS AJOUTEES REGIONALES ET LES PIB REGIONAUX<br>A L'HORIZON 1985 ET 2000 DANS LE CADRE DES TROIS SCENARIOS .....             | 115   |
| Annexe III - COEFFICIENTS ET PARAMETRES D'ENTREE DU MODELE DE SIMULATION<br>DE LA DEMANDE .....                                                  | 129   |
| Annexe IV - ANALYSE SECTORIELLE DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE .....                                                                                | 137   |
| Annexe V - NOTE SUR LES RESEAUX DE CHAUFFAGE URBAIN, LA GEOTHERMIE,<br>LA PRODUCTION COMBINEE URBAINE ET LES REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS ..... | 147   |



|                                                                                                                                                         | <u>Pages</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Annexe VI - NOTE SUR LA COGENERATION INDUSTRIELLE .....                                                                                                 | 165          |
| Annexe VII - LE POTENTIEL ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE .....                                                                                              | 179          |
| Annexe VIII - NOTE SUR LE POTENTIEL ENERGETIQUE DE L'ENERGIE SOLAIRE,<br>DES DECHETS URBAINS, DES POMPES A CHALEUR, ET DE L'ENER-<br>GIE EOLIENNE ..... | 209          |
| Annexe IX - LE PARC D'EQUIPEMENT ELECTRIQUE : SITUATION 1975 ET PERS-<br>PECTIVES TENDANCIELLES POUR 1985-2000 .....                                    | 223          |
| Annexe X - LES HYPOTHESES DE PASSAGE DU BILAN EN ENERGIE FINALE<br>AU BILAN EN ENERGIE PRIMAIRE .....                                                   | 231          |

## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                                                                               | <u>Pages</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>TABEAU 1</b> - La part des dépenses énergétiques dans la valeur de la production des branches en 1973 et 1977 .....                                        | <b>4</b>     |
| <b>TABEAU 2</b> - Taux de croissance entre 1975 et 2000 par scénario .....                                                                                    | <b>20</b>    |
| <b>TABEAU 3</b> - Comparaison des hypothèses d'évolution du prix CAF du pétrole ..                                                                            | <b>24</b>    |
| <b>TABEAU 4</b> - Les secteurs économiques, les formes d'énergie et les usages énergétiques .....                                                             | <b>33</b>    |
| <b>TABEAU 5</b> - Taux de croissance annuels des PIB régionaux entre 1975 et 2000. Parts des régions dans le PIB national en 1975 et en 2000 (I, II, III)     | <b>38</b>    |
| <b>TABEAU 6</b> - Les utilisations finales de l'énergie. Evaluation passée et prévisions en 1975 et 2000. (Equivalence de l'électricité à la consommation) .. | <b>45</b>    |
| <b>TABEAU 7</b> - Les utilisations finales de l'énergie. (Equivalence de l'électricité à la production) .....                                                 | <b>45</b>    |
| <b>TABEAU 8</b> - Part de chaque secteur dans le total des utilisations finales .....                                                                         | <b>47</b>    |
| <b>TABEAU 9</b> - Consommation par tête et consommation par unité de PIB .....                                                                                | <b>48</b>    |
| <b>TABEAU 10</b> - Les utilisations finales de l'énergie par région .....                                                                                     | <b>49</b>    |
| <b>TABEAU 11</b> - Indices de prévision des utilisations finales de l'énergie pour les neuf régions .....                                                     | <b>49</b>    |
| <b>TABEAU 12</b> - Les consommations d'énergie par l'ensemble des utilisateurs. (Equivalence de l'électricité à la consommation) .....                        | <b>53</b>    |
| <b>TABEAU 13</b> - Les consommations d'énergie. (Equivalence de l'électricité à la production) .....                                                          | <b>53</b>    |
| <b>TABEAU 14</b> - Les apports des nouvelles formes d'énergie en 2000 .....                                                                                   | <b>55</b>    |
| <b>TABEAU 15</b> - Les taux annuels de croissance de l'énergie, de la production et de l'emploi entre 1975 et 2000 dans les scénarios I, II et III .....      | <b>62</b>    |
| <b>TABEAU 16</b> - Apport des énergies locales et régionales. Taux d'indépendance par scénario .....                                                          | <b>77</b>    |
| <b>TABEAU 17</b> - Apport en énergies nouvelles. Ventilation par formes d'énergie ..                                                                          | <b>77</b>    |
| <b>TABEAU 18</b> - Apports en électricité locale .....                                                                                                        | <b>78</b>    |
| <b>TABEAU 19</b> - Apport des énergies locales et régionales. Répartition par région. 2000 III .....                                                          | <b>79</b>    |
| <b>TABEAU 20</b> - Energie locale prépondérante par région. 2000 III .....                                                                                    | <b>81</b>    |
| <b>TABEAU 21</b> - Couples d'énergies locales prépondérantes par région. 2000 III ..                                                                          | <b>82</b>    |
| <b>TABEAU 22</b> - Energies nouvelles. Structure régionale .....                                                                                              | <b>84</b>    |
| <b>TABEAU 23</b> - Electricité locale et régionale. Structure régionale .....                                                                                 | <b>86</b>    |
| <b>TABEAU 24</b> - Apports des combustibles importés et de l'électricité thermique nationale dans la consommation finale .....                                | <b>88</b>    |
| <b>TABEAU 25</b> - Bilan électrique national .....                                                                                                            | <b>92-93</b> |
| <b>TABEAU 26</b> - Production d'électricité thermique par région et par scénario ....                                                                         | <b>94</b>    |
| <b>TABEAU 27</b> - Pourcentage d'excédent ou de déficit régionaux d'électricité par rapport à la demande totale de la France .....                            | <b>95</b>    |
| <b>TABEAU 28</b> - Comparaison des résultats entre les scénarios du CGP et de l'IEJE en 2000 .....                                                            | <b>99</b>    |

## LISTE DES GRAPHIQUES

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CARTE 1</b> Le découpage D2 en 9 régions retenu dans l'étude .....      | <b>15</b> |
| <b>GRAPHIQUE 1</b> - La demande d'énergie finale .....                     | <b>45</b> |
| <b>GRAPHIQUE 2</b> - Evolution des utilisations finales de l'énergie ..... | <b>50</b> |

|                                                                                                                         | <u>Pages</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| GRAPHIQUE 3 - Répartition par forme d'énergie .....                                                                     | 53           |
| GRAPHIQUE 4 - Indices de prévision en 2000 pour les scénarios I, II, III .....                                          | 56           |
| GRAPHIQUE 5 - Part de chaque forme d'énergie dans les utilisations finales de<br>chaque région 2000, scénario II .....  | 59           |
| GRAPHIQUE 6 - Part de chaque forme d'énergie dans les utilisations finales de<br>chaque région 2000, scénario III ..... | 60           |
| GRAPHIQUE 7 - Apport des énergies locales et régionales. Structures régionales ..                                       | 80           |
| GRAPHIQUE 8 - Energies nouvelles. Répartition régionale pour 2000 III .....                                             | 83           |
| GRAPHIQUE 9 - Répartition régionale pour 2000 III .....                                                                 | 85           |

- 30 Une image de la France en l'an 2000 : documents, méthode de travail
- 31 Les grandes liaisons routières, histoire d'un schéma
- 32 Schéma directeur de la Corse
- 33 Technologie et aménagement du territoire
- 34 Les firmes multinationales
- 35 Schéma directeur de l'aéronautique
- 36 L'avenir de la Basse-Normandie
- 37 Survol de l'Europe
- 38 Approches de la réalité urbaine
- 39 Paris, ville internationale, rôle et vocations
- 40 Bordeaux, ville océane, métropole régionale
- 41 Regard prospectif sur le bassin méditerranéen
- 42 Services nouveaux de télécommunications
- 43 Le peuplement urbain français
- 44 Régions de villes, régions urbaines
- 45 Questions à la société tertiaire
- 46 Industrie en Europe
- 47 Scénarios européens d'aménagement du territoire
- 48 Scénarios pour les villes moyennes
- 49 Emploi et espace
- 50 Sésame, année 5
- 51 La façade Atlantique
- 52 Transformations du travail industriel
- 53 L'Europe médiane
- 54 Travail féminin : un point de vue
- 55 Firmes multinationales et division internationale du travail
- 56 Dynamique et projet urbain régional. Un exemple, la région Alsace
- 57 Qualification du travail
- 58 Syndicats et sociétés multinationales
- 59 La méthode des scénarios
- 60 Littoral Bas-Normand, schéma d'aménagement
- 61 Décentralisation Industrielle et relations de travail
- 62 Prospective des investissements étrangers en France
- 63 Sésame, année 8, programme de travail
- 64 Les petites villes en France
- 65/66 Restructuration de l'appareil productif français. Prospectives
- 67 Prospective, planification, programmation. Une analyse
- 68 Le scénario de l'inacceptable : sept après
- 69 Bureaux en province. Perspectives
- 70 Aménagement de la Loire moyenne. Schéma de la métropole-jardin
- 71 Bilan d'une expérience prospective
- 72 Villes internationales, villes mondiales
- 73 Sur l'emploi. Premiers dossiers
- 74 Technologie et avenir régional
- 75 Activités et régions. Dynamique d'une transformation
- 76 Le Grand Sud-Ouest. Diagnostics pour l'avenir
- 77 Tertiaire et inflation
- 78 Dynamismes locaux et aménagement du territoire

---

**Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale**

1, avenue Charles-Floquet — 75007

Fondateur de la collection : Gérard WEILL +

*Directeur de la publication :* Jean BOUCHET

*Administrateur :* Hélène ROGER-VASSELIN - *Couverture :* Cl. CAUJOLLE et D. COHEN

---

Imprimerie MAUGEIN-LACHAISE — R.N. 89 - 19360 Malemort — Dépôt légal n° 109