

PROJET ALTER



**ESQUISSE D'UN REGIME
A LONG TERME TOUT
SOLAIRE**

Syros

SOMMAIRE⁽¹⁾

Chapitre I

INTRODUCTION

- I.1. Motivation.
- I.2. Démarche.
- I.3. Présentation résumée du régime à long terme.
- I.4. Commentaires.

Chapitre II

GENERALITES SUR L'ENERGIE ET LES BILANS ENERGETIQUES

- II.1. Préliminaire.
- II.2. Classification des formes d'énergie.
- II.3. Classification des secteurs d'utilisation et d'approvisionnement.
- II.4. Unités de mesure.
- II.5. Bilans d'approvisionnement-distribution.
- II.6. Bilans d'utilisation finale.

Chapitre III

CATALOGUE DE TECHNIQUES DE CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE

- III.1. Généralités.
- III.2. Chauffage des locaux, eau chaude, cuisine.
- III.3. Production de la chaleur industrielle.
- III.4. Production de combustibles et carburants.
- III.5. Production d'électricité.
- III.6. Autres filières.

Chapitre IV

EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES DE LA FRANCE DANS UNE PERSPECTIVE A LONG TERME

- IV.1. Préliminaire : Demande et besoins.
- IV.2. Evaluation des besoins énergétiques directs de la population.
- IV.3. Evaluation des besoins énergétiques de l'agriculture, de l'industrie et des transports de marchandises.

Chapitre V

PRESENTATION DU REGIME A LONG TERME

- V.1. Préliminaire : Prévision et anticipation.
- V.2. Bilans.
- V.3. Analyse du bloc UTILISATION.
- V.4. Analyse du bloc PRODUCTION.
- V.5. Régulation du système électrique.
- V.6. Commentaires et variantes.

Annexe

EBAUCHE D'UN SCENARIO DE TRANSITION

- A.1. Préliminaire.
- A.2. Tableau diachronique.
- A.3. Traits principaux du scénario.
- A.4. Quelques évaluations.

Le Groupe de Bellevue est constitué de chercheurs de divers horizons, Centre National de la Recherche Scientifique, Collège de France, Electricité De France, Institut National de la Recherche Agronomique, impliqués professionnellement dans les recherches sur les énergies renouvelables.

Frappé par la timidité de la prospective énergétique actuellement disponible pour la France, ce groupe a naïvement entrepris, avec les moyens du bord, l'étude d'un scénario énergétique axé sur le potentiel renouvelable.

Le Groupe de Bellevue.

correspondance : 85 Boulevard de Port Royal
75013 PARIS

DIFFUSION Editions SYROS 9 rue Borromée 75015
CCP PARIS I9 706 28T 20F et 6.30F port.

(1) On trouvera en bas de chaque page l'indication du ou des paragraphes ou alinéas qu'elle contient.

Chapitre I
INTRODUCTION

I.1. Motivation

(a) Ce texte constitue le premier résultat d'un travail qui a pour but d'évaluer ce que peut être pour la France un avenir énergétique axé, à long terme, sur l'énergie solaire et ne faisant pas ou très peu (et seulement à court terme) appel à l'énergie nucléaire. Comme réponse à la pénurie de combustibles fossiles, on envisage :

- * A court et moyen terme (1975-2000) une stabilisation progressive des consommations⁽¹⁾ et une réorganisation "à l'économie" de l'activité du pays plutôt qu'un appel massif à l'électricité nucléaire de fission par neutrons lents.
- * A long terme (2000-2050) un passage progressif du régime basé sur les combustibles fossiles à un régime stable d'auto-subsistance énergétique exclusivement basé sur le gisement renouvelable que constitue l'énergie solaire sous toutes ses formes. En particulier, vu la richesse forestière et agricole de la France, la conversion par les plantes y joue un rôle déterminant ; on ne fait appel ni à la fission par neutrons rapides, ni à l'hypothétique fusion thermonucléaire.

(b) On ne cherche ici ni à motiver, ni à situer politiquement l'option non nucléaire retenue : elle constitue un point de départ de l'étude. Cependant, parmi les facteurs susceptibles d'empêcher le développement du système nucléaire, on retient tout particulièrement :

- * d'une part les difficultés techniques et politiques qui accompagnent le cycle du plutonium indispensable au surrégénérateur,
- * d'autre part la psychose anti-nucléaire qui se traduit par l'absence d'un consensus de la population et peut entraîner un blocage socio-politique dans le cas d'un grand "accident de référence".

En fait, on cherche plutôt à réduire l'autre psychose : celle selon laquelle un arrêt du développement nucléaire provoquerait nécessairement à terme une pénurie dramatique, pénurie qui concernerait en premier lieu les classes sociales aujourd'hui défavorisées⁽²⁾ et ruinerait l'économie du pays.

On explicite la démarche du travail au § I.2. ; le § I.3. contient un résumé de son contenu technique ; enfin le § I.4. contient quelques commentaires.

I.2. Démarche

(a) On remet nettement en cause l'impératif catégorique de croissance industrielle qui règne sur l'économie depuis deux siècles et on le remplace par un impératif de stabilisation de l'activité productrice (et de la population) du microcosme humain⁽³⁾. On valorise ainsi la perspective d'un équilibre post-industriel stable de l'écosystème planétaire ; équilibre économisant les ressources non renouvelables et limitant les perturbations causées à la bio-sphère par l'homme.

(1) Cette stabilisation est déjà entrée dans les faits : la consommation de 1977 n'a pas dépassé celle de 1973.

(2) Voir à ce sujet I.3.b.

(3) Impératif sans doute plus pressant pour les pays industrialisés que pour le tiers monde ; mais, d'une part on s'intéresse ici essentiellement à la France, d'autre part on récuse le sophisme consistant à justifier la poursuite de la croissance en occident par le besoin de développement du tiers monde (Voir I.4.a. ci-après).

- (b) Pour prospecter l'avenir dans l'esprit précédent, la démarche de *prévision par extrapolation du passé récent* est inopérante puisque ce passé a été justement marqué par la croissance industrielle narcissique et, récemment, par l'accélération nucléaire ; développement de l'énergie nucléaire et poursuite de cette croissance sont en fait étroitement liés, à la fois par les mécanismes de la grande industrie internationale et par le mythe du progrès-providence.

On procède donc par anticipation selon la démarche suivante.

- (c) On commence par étudier ce que pourrait être à *très long terme* pour la France un *régime stable* (*régime de croissance*) d'auto-subsistance énergétique exclusivement basé sur la captation locale de l'énergie solaire. Il correspond à une économie post-industrielle stabilisée ayant retrouvé un niveau raisonnable de structuration des équilibres locaux⁽¹⁾. C'est la présentation de ce régime à long terme qui fait l'objet de cette première étude⁽²⁾.
- (d) On a volontairement limité l'étude au domaine des contraintes imposées par la géographie physique du pays, l'état des techniques d'utilisation et de conversion de l'énergie et certains gros plans macro-économiques (démographie, niveau de vie, croissance, ...). Ce parti technocratique est destiné à éclairer le champ des possibles⁽³⁾ du point de vue physique en préjugeant le moins possible des caractéristiques socio-politiques de l'avenir. Toutefois, il est clair que le régime énergétique envisagé à long terme s'inscrit davantage dans la perspective d'une société "céconcentrée" et valorisant l'auto-subsistance que dans celle d'une hyper spécialisation. Ainsi, bien que les hypothèses retenues n'impliquent pas un projet de société au sens politique usuel du terme, ce travail peut apporter un certain éclairage sur les limites physiques d'un tel projet.
- (e) L'étude faite reste à un niveau rudimentaire d'évaluations numériques. En particulier, les échanges inter industriels ou extérieurs du pays ne sont pas étudiés avec un modèle élaboré⁽⁴⁾. Il reste donc beaucoup à faire techniquement : ce travail n'est qu'une *esquisse* dont le développement réclame des moyens dépassant le cadre artisanal où a travaillé le Groupe Bellevue⁽⁵⁾. Dans le même ordre d'idées, le texte ne contient aucune référence :

* d'une part pour les données importantes, celles qui concernent l'avenir, les sources utilisées sont trop fragmentaires pour être référées utilement,

* d'autre part une recherche-discussion bibliographique complète dépasse les moyens du groupe si tant est qu'elle ait un sens.

Ce sont davantage la démarche et les gros plans que les décimales qui comptent ici.

- (f) Dans une publication ultérieure, on explicitera un *scénario de transition* conduisant, par une modération à court et moyen terme, puis un arrêt progressif à long terme de la croissance (tant industrielle que démographique), du régime actuel de croissance-dépendance, au régime d'auto-subsistance présenté ici. L'étude de ce scénario prendra en compte comme un facteur essentiel les investissements nécessaires à la mise en place du régime à long terme. En fait, cette étude, conçue également comme anticipation, concernera un scénario d'évolution économique du pays précisant comment rendre compatibles le maintien des équilibres macro-économiques avec une stabilisation de l'activité industrielle et les investissements nécessaires à la mise en place du système énergétique auto-subsistant. Cette étude de transition doit faire appel à un modèle des échanges inter-industriels et extérieurs du pays ; elle sort donc du cadre économique rudimentaire où se situe la présentation actuelle, plus technique qu'économique, du régime à long terme. Elle réclame du temps et des moyens (de documentation et de calcul) dont n'a pas disposé jusqu'ici le groupe de Bellevue ; il a donc paru raisonnable de ne pas en attendre l'achèvement pour diffuser l'image normative que constitue le régime à long terme. Toutefois, on donne en annexe une description rudimentaire du scénario envisagé, en se limitant aux lignes directrices du point de vue énergétique et sans aborder les problèmes économiques ci-dessus mentionnés.

(1) Dans le débat entre autonomie et spécialisation, on opte nettement pour l'autonomie, sans toutefois la confondre avec la stricte autarcie.

(2) Voir I.3. et I.2.f. (3) Concernant un avenir énergétique pour la France axé sur le potentiel renouvelable.

(4) Voir (f) ci-après et IV.1.c. à ce sujet.

(5) Voir (f) ci-après.

I.3. Présentation résumée du régime à long terme⁽¹⁾

- (a) On définit le régime d'auto-subsistance énergétique à long terme basé sur l'énergie solaire à partir d'hypothèses concernant, d'une part les besoins à satisfaire⁽²⁾ et d'autre part les technologies considérées comme alors disponibles pour la conversion de l'énergie⁽³⁾.
- (b) Conformément à la démarche d'anticipation employée⁽⁴⁾, les consommations sont déterminées par *évaluation de besoins à satisfaire* et non comme *prévisions d'une demande*. On évalue les besoins au chapitre IV. en fonction de la conception déjà mentionnée⁽⁵⁾: population avoisinant 60 Millions d'habitants [contre 53 en 1975], niveau de vie confortable pour tous⁽⁶⁾, mais avec économie systématique et minimisation plutôt que maximisation de l'activité industrielle et des échanges extérieurs.

Le résultat de ces évaluations de besoins est en gros le suivant⁽⁷⁾: le total de la consommation des secteurs d'utilisation est peu différent du total actuel [41,5 MTEP⁽⁸⁾ contre 146,5 en 1975]. Cependant :

- * la répartition entre secteurs est notablement différente [43,5 % pour le secteur résidentiel tertiaire contre 36,8 % en 1975 ; 14,5 % pour les transports contre 21,4 % ; 6,7 % pour la sidérurgie contre 8,5 %],
- * la beaucoup plus grande diversification des vecteurs d'énergie permet une meilleure utilisation finale à énergies distribuées voisines [34,1 % de chaleur solaire directement distribuée ; 10,3 % de carburants liquides contre 54,6 % (combustibles et carburants) en 1975 ; 14,1 % de combustibles solides⁽⁹⁾ contre 11,3 % ; 31 % d'électricité contre 24,6 %].

- (c) Les technologies envisagées à long terme pour la captation de l'énergie solaire correspondent à des hypothèses modestes ("conservatrices") en ce sens que l'on ne retient que des procédés dont la faisabilité technique (mais pas nécessairement économique selon les critères actuels) est pratiquement acquise⁽¹⁰⁾. Elles concernent essentiellement⁽¹¹⁾ :

- * le chauffage des locaux : en plus de l'utilisation directe des apports solaires, chauffage urbain alimenté par des centrales solaires avec stockage été-hiver dans le sous-sol⁽¹²⁾,
- * le chauffage industriel par des installations à concentration diverses,
- * la production de combustible solides commodes⁽¹³⁾ ou de carburants à partir de la bio-masse : récupération de déchets, plantations et cultures énergétiques,
- * la production d'électricité par diverses filières de captation directe (thermodynamique ou photovoltaïque) en plus des filières hydraulique, marémotrice, éolienne.

Par contre, on ne suppose pas acquise la photolyse directe de l'eau dont aucune démonstration de faisabilité n'a encore été effectuée. L'hydrogène est donc produit électrolytiquement ; enfin, les satellites solaires ne sont pas retenus à cause de leur gigantisme.

- (d) Cela étant, on propose au chapitre V un système d'approvisionnement énergétique du pays basé sur les techniques précédentes et assumant entièrement les besoins explicités en (b) ci-dessus :

- * le chauffage solaire fournit 80 % [34 MTEP] des besoins du chauffage résidentiel-tertiaire et 40 % [1,5 MTEP] des besoins de chaleur industrielle. Il réclame 250.000 hectares d'installations disséminées.

(1) Pour un aperçu du scénario de transition ; voir A.1 et A.3. (2) Voir (b) ci-après.
(3) Voir (c) ci-après. (4) Voir I.2.b. (5) Voir I.2.c.
(6) 20 millions de logements de 100 m² ; consommation moyenne de produits courants par habitant : 1,3 fois la consommation en 1975 ; niveau moyen d'équipement par habitant : 1,5 fois le niveau en 1975 (mais avec du matériel durant 2 fois plus longtemps en moyenne). Ces niveaux suffisent à assurer une vie matérielle confortable pour tous à condition d'une juste répartition des biens correspondants.
(7) Voir le chapitre IV. et V.3.g. et h. pour plus de détails.
(8) MTEP = million de tonne d'équivalent pétrole ; voir II.4.a.
(9) Combustibles solides et carburants liquides sont tirés de la bio-masse ; voir (c) ci-après.
(10) Voir I.4.b. à ce sujet (11) Pour plus de détails voir le chapitre III.
(12) Stockage géothermique qui peut suppléer la géothermie proprement dite à long terme ; cette dernière, n'étant pas une source d'énergie renouvelable, intervient à moyen terme (voir A.2), mais plus à très long terme.
(13) Granulats : voir III.4.d.

* la production d'électricité [54,2 MTEP⁽¹⁾ contre 40 en 1975] résulte :

. d'une part de l'exploitation à un niveau maximum non intensif des potentiels hydraulique [20 MTEP contre 13,4 en 1975], marémoteur [7,5 MTEP], éolien [6,7 MTEP],

. d'autre part de centrales solaires [13 MTEP] qui produisent aussi par électrolyse la majeure partie de l'hydrogène utilisé [4 MTEP] et occupent 450.000 hectares.

* la production des combustibles solides [22,1 MTEP qui fournissent un complément de chauffage domestique (4,5 MTEP) et surtout industriel (10,6 MTEP)].

* celle des carburants liquides [4,9 MTEP] ou gazeux autres que l'hydrogène [2,8 MTEP de méthane] réclame l'exploitation en régime permanent de 5 Millions d'hectares de forêt [sur 15 en 1975] et de 2,5 Millions d'hectares de terres agricoles [sur 35 en 1975]. La bio-masse est transformée en combustibles ou carburant dans des unités de taille moyenne [150.000 TEP/an de capacité] situées sur les lieux de production forestière ou agricole, une usine pour quelques cantons.

Ces superficies sont certes importantes, mais non redibitoires, d'autant que, sur les 700.000 hectares d'installations de captation, moins de 200.000 sont industrialisés (sur 5 Millions d'hectares de surfaces non agricoles en 1975). Le reste demeure très probablement accessible à l'élevage et à certaines cultures.

(e) Le résultat notable ainsi dégagé réside dans le fait que le potentiel solaire (le "gisement solaire") obtenu pour le territoire peut assumer les besoins "post-industriels" envisagés, mais cela à la limite de ses possibilités. Il apparaît en effet qu'une augmentation substantielle des superficies consacrées à l'approvisionnement énergétique est difficilement compatible avec l'impératif écologique introduit au § I.2.a. Par exemple, un doublement des apports semble exclu, au moins avec les technologies conservatrices envisagées⁽²⁾.

I.4. Commentaires

(a) Malgré le caractère planétaire du problème de l'énergie et des problèmes écologiques, on se limite strictement ici au cadre du territoire de la France. Cette limitation redibitoire pour une étude de prévision du type dynamique des systèmes, ne l'est pas pour l'anticipation que l'on a en vue, puisqu'on s'intéresse à une perspective d'auto-subsistance énergétique basée sur la captation locale de l'énergie solaire.

Par ailleurs, la France occupe une position spécialement favorable⁽³⁾ tant en ce qui concerne le potentiel d'auto-subsistance (pas seulement énergétique) que le gisement solaire, grâce à la conjugaison de son état de développement et de ses richesses agricoles, forestières, hydrauliques, éoliennes, ... Une étude parallèle pour l'Europe des Neufs donnerait sans doute des résultats notablement différents : transition plus facile grâce au charbon Allemand et au pétrole de la Mer du Nord, mais long terme solaire plus juste. Par contre, les Etats-Unis ou l'URSS conjuguent évidemment toutes les faveurs.

Pour les pays du tiers monde, l'option de stabilisation et d'auto-subsistance envisagée ici aurait l'avantage de leur laisser disposer à terme des ressources fossiles existant sur leurs sols ; on considère que leur problème énergétique (comme d'ailleurs celui de leur développement) est leur affaire, sans toutefois éliminer une collaboration technique ou des échanges sélectifs.

(b) On s'intéresse donc à un avenir énergétique conduisant à un équilibre à très long terme basé sur des techniques et des besoins modestes. Cette étude peut sembler peu réaliste, vu la rapidité et la brutalité avec lesquelles le microcosme humain transforme actuellement la planète ; il est en effet probable que des redistributions et des innovations techniques importantes se produiront avant l'épuisement des ressources fossiles. La démarche d'anticipation employée permet de s'abstraire de ces incertitudes grâce au jeu des hypothèses faites.

(1) Avec l'équivalence nominale 1 MTEP = 4,5 TWh ;
Voir II.4.c.

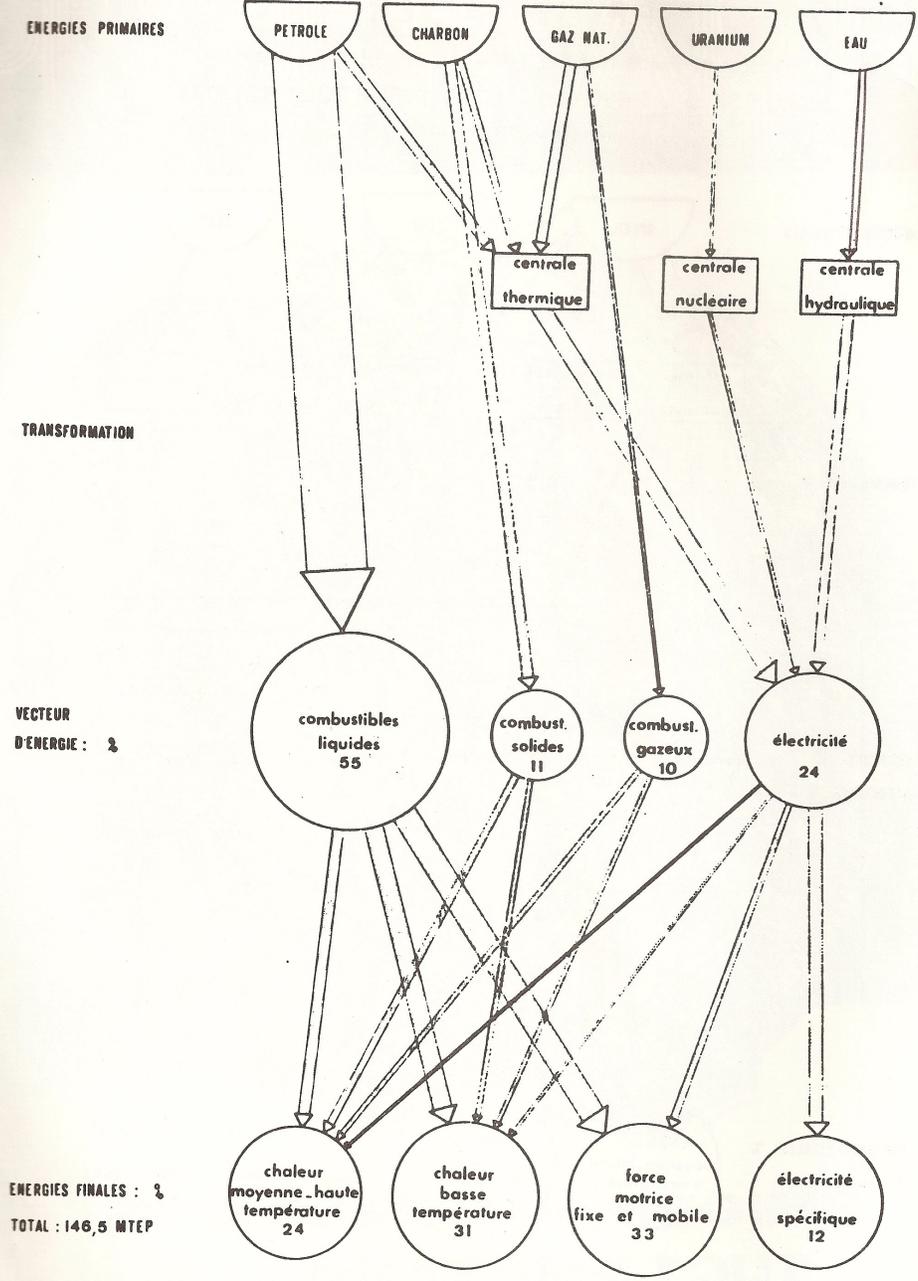
(2) Pour plus de détails voir le chapitre V ; en particulier V.6. où sont discutées certaines variantes.

(3) Entre autres par rapport à la moyenne Européenne.

(4) Si elle était partagée par une majorité des pays développés ... ce qui est évidemment problématique ; voir (c) ci-dessous.

En ce qui concerne les techniques considérées comme disponibles aux termes en cause, on a préféré faire des hypothèses modestes. En effet, si un équilibre est possible sous ces hypothèses, il le serait à fortiori si des innovations techniques importantes avaient lieu.

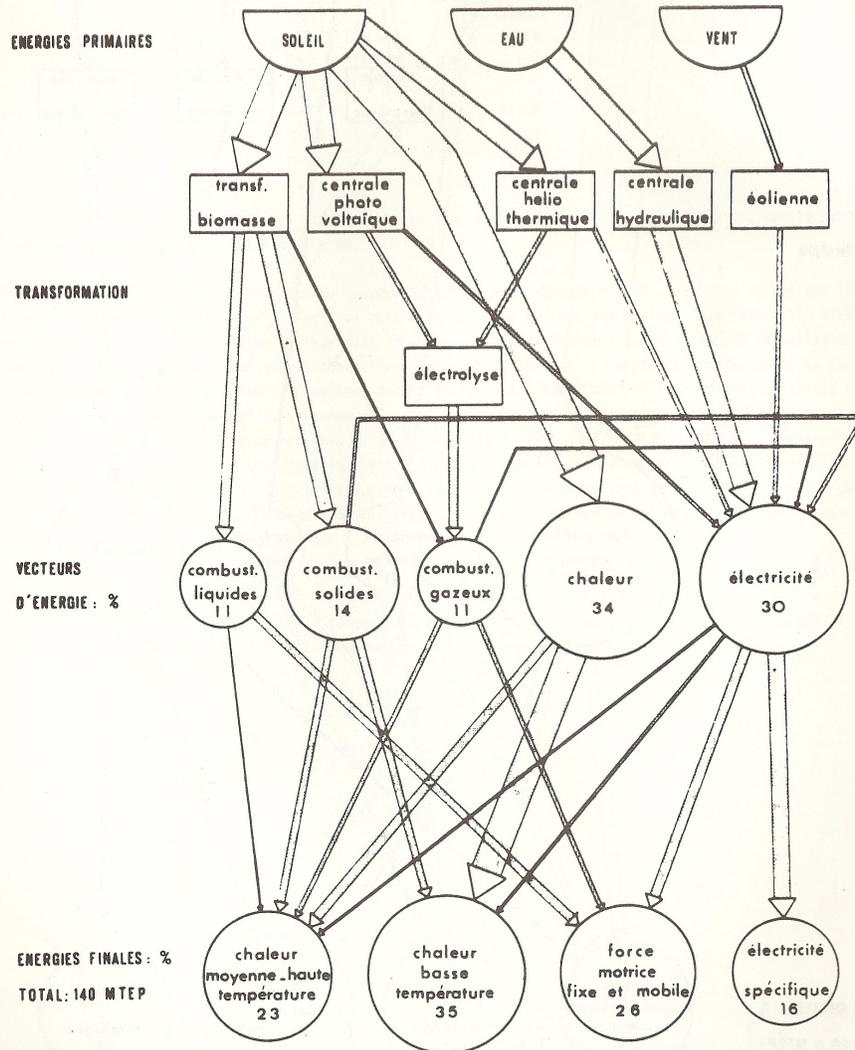
- (c) Il est clair qu'envisagé dans la perspective de l'expansion triomphante, le réalisme historique du scénario proposé apparaît comme correspondant à court et moyen terme à des économies draconiennes - à la limite du dramatique et de l'absurde - dont la mise en oeuvre est bien improbable car on ne voit pas quelle force politique pourrait l'imposer ! ... Par contre, dans la perspective d'une aggravation de la crise mondiale, ces économies pourraient être imposées par la force des choses. Le scénario proposé leur donne alors une cohérence et un contenu positif grâce à l'équilibre à long terme auquel il conduit. Ce nouvel équilibre peut apparaître alors comme un objectif et plus seulement comme un aboutissement possible.



SCHEMA ENERGETIQUE 1975

PROJET ALTER

ETUDE D'UN AVENIR ENERGETIQUE POUR LA FRANCE AXE SUR LE POTENTIEL RENOUVELABLE
 ESQUISSE D'UN REGIME A LONG TERME TOUT SOLAIRE
 PAR LE GROUPE DE BELLEVUE



SCHEMA ENERGETIQUE A LONG TERME

20frs

Editions Syros
 9, rue Borromée, 75015 Paris

