

UNE MICRO-MAQUETTE ILLUSTRATIVE DU MODELE ATHEMA

FASCICULE I

par Philippe COURREGÉ (1)

(1) UER de mathématiques et d'informatique, Université de Paris VII ;  
Laboratoire mixte CNRS-AFME "modèles d'économie physique et prospective"

## AVANT PROPOS

On présente dans ce fascicule une maquette très agrégée, dite "micro-maquette", de l'ensemble économique français et une première série de résultats numériques concernant cette maquette. Cette présentation a pour but d'illustrer le maniement du modèle ATHEMA au moyen de réalisations de ce dernier qui, à la fois, sont de petites dimensions (vu le propos pédagogique) et concernent un ensemble humain macroéconomiquement significatif (de façon à motiver le propos).

Dans ce sens, le texte est décomposé en "Exposés" qui, bien que complémentaires et liés par un cadre nominatif commun, sont présentés de façon relativement indépendante, chacun concernant un thème. Après la description du cadre nominatif et du jeu de données techniques calé sur l'année 1973 (Exposé no 1), on s'intéresse successivement aux thèmes suivants :

- contraintes d'échanges extérieurs et limitations de la croissance à la suite du premier choc pétrolier (Exposé no 2) ;
- représentation d'une croissance équilibrée et relation entre croissance des consommations finales et croissance du système productif (Exposé no 3) ;
- scénario à long terme d'autonomisation énergétique de la France, basé principalement sur le potentiel local des énergies renouvelables (Exposé no 4).

Ces trois exposés mettent essentiellement l'accent sur les relations entre la structure technique du système productif et les contraintes d'échanges extérieurs du pays : les échanges intérieurs n'y sont pris en compte qu'en termes techniques de circulation des biens entre activités productrices et consommatrices ; les prix, tous prix extérieurs, sont exogènes et l'illustration du modèle porte d'abord sur la représentation du système productif et de son évolution.

Dans une autre série d'exposés, qui fera l'objet d'un second fascicule, on mettra au contraire l'accent sur l'organisation multisectorielle du pays, sur les transferts monétaires entre secteurs et les systèmes de prix adaptés au financement de transformations profondes : cette autre série aura pour but d'illustrer le maniement du modèle en ce qui concerne la représentation de l'organisation économique intérieure et le calcul des prix.

Pour chaque exposé, l'introduction donne une idée de son thème et des résultats qu'il présente. Cependant, conformément à leur visée illustrative, les exposés sont axés sur la description des méthodes, du maniement du modèle, et non sur la mise en valeur des résultats, lesquels sont quantitativement sujets à caution vu le caractère très agrégé de la maquette en cause.

L'auteur remercie J.DEFLANDRE pour divers avis et évaluations techniques, ainsi que M.N.SUIN et H.DELESTRE pour leur accueil lors de recherches documentaires à l'INSEE. L'auteur remercie aussi M.CLAVERIE et P.CHARTIER pour l'intérêt qu'il ont porté à ce travail.

Paris, octobre 1985.

## SOMMAIRE

### Exposé no 1 - Présentation de la micro-maquette

- § 1 - Introduction
- § 2 - Nomenclatures (p. 3)
- § 3 - Régime de référence : description initiale (p. 7)
- § 4 - Estimation du régime de référence (p. 13)
- § 5 - Jeu de données techniques (p. 24)
- § 6 - Régime de référence et réalisation primaire (p. 28)

37

### Annexes - Coefficients techniques (p. 31)

### Exposé no 2 - Prix de l'énergie et limitations de la croissance

- § 1 - Introduction
- § 2 - Jeux de données (p. 2)
- § 3 - Spécifications (p. 5)
- § 4 - Croissance standard (séries nos 1 à 3 ; p. 8)
- § 5 - Croissance différenciée (séries nos 4 et 5 ; p. 10)
- § 6 - Redondance importations/exportations (série no 6 ; p. 13)

16

### Exposé no 3 - Analyse d'une croissance équilibrée

- § 1 - Introduction
- § 2 - Jeu de données (p. 2)
- § 3 - Déterminations (p. 4)

7

### Exposé no 4 - Un scénario de développement des énergies renouvelables

- § 1 - Introduction
- § 2 - Cadre général : données techniques de base (p. 2)
- § 3 - Cadre général : données circonstancielles (p. 5)
- § 4 - Scénario de pénurie (p. 8)
- § 5 - Scénario de développement : étude à long terme (p. 11)
- § 6 - Scénario de développement : étude de transition (p. 16)

21



§ 1 - INTRODUCTION

Afin de compléter la présentation du modèle ATHEMA faite dans le texte théorique [7] par l'étude numérique de spécifications particulières ([7], alinéa 1.d), on présente dans cet exposé les éléments de base, essentiellement l'appareil nominatif et le jeu de données techniques, qui vont être communs à diverses réalisations du modèle ([7], alinéa 7.c) représentant de façon très agrégée l'ensemble économique français. Ces réalisations seront définies, à partir des éléments introduits ici, dans les exposés suivants de cette série "micro-maquette", ce vocable désignant le contexte général ainsi situé.

Le propos de cette série d'exposés est d'illustrer le maniement du modèle au moyen de réalisations, de petites dimensions (du point de vue de l'appareil nominatif), mais concernant un ensemble économique de type national ([7], alinéa 8.b), en l'occurrence la France. Cette option en faveur d'un grand ensemble économique (plutôt que d'un ensemble local, évidemment plus simple à représenter) tient d'abord à ce que c'est seulement à ce niveau qu'est possible l'étude de la cohérence globale de transformations profondes de l'appareil productif ou des comportements collectifs qui motive le modèle ATHEMA ([7], alinéas 1.a et 12.e). Par ailleurs, c'est dans le contexte de tels ensembles que s'inscrit usuellement l'analyse macroéconomique ; ce cadre devrait donc être plus favorable au propos illustratif de la micro-maquette.

Cela dit, les deux exigences "de petites dimensions" et "concernant un grand ensemble économique" sont incompatibles si la démarche prospective a une visée opérationnelle au niveau politique de la concertation ou le l'aide à la décision. Dans ce sens la visée de la micro-maquette qui va être présentée est illustrative plutôt qu'opérationnelle : les exposés de cette série présentent des illustrations de la méthodologie du modèle et non des utilisations opérationnelles, la micro-maquette étant trop agrégée et l'estimation qui va être faite des jeux de données trop sujette à caution pour que les résultats obtenus puissent avoir une visée opérationnelle.

Toutefois, la visée illustrative n'est évidemment pas incompatible avec le choix de thèmes d'études concernant un ensemble économique réel et ayant une signification politique : au contraire, une fois dégagée la distinction entre illustration et utilisation opérationnelle, les thèmes peuvent être choisis plus librement pour une illustration.

En fait, au delà des précautions méthodologiques concernant l'usage de la micro-maquette, on souligne qu'illustration et utilisation opérationnelle sont des formes d'application du modèle qui sont à conjuguer plutôt qu'à opposer dans la démarche de prospective libre : un exercice de prospective libre, en tant qu'il vise à fournir des images contrastées de l'avenir ("exploration de ce que pourrait être l'avenir, techniquement et fonctionnellement" ; [7], alinéa 1.a), est d'abord l'illustration de la méthodologie qui consiste, en choisissant les hypothèses de l'exercice, à distinguer dans la complexité du réel les éléments qui sont retenus de ceux qui sont ignorés (car considérés comme contingents) pour réserver la liberté exploratoire requise via la sous-détermination des réalisations en cause ([7], alinéas 1.b, 1.c, 7.c, 12.e) ; l'utilisation opérationnelle n'intervient qu'après l'illustration, en particulier lorsque la prospective s'inscrit dans un processus de planification ([7], alinéas 1.a et 12.e).

L'articulation entre la finalité de l'exercice et la construction des jeux de données est fournie par la démarcation qui doit préciser les deux types de déterminants que sont, d'une part les caractéristiques générales de l'ensemble

humain en cause, d'autre part les conditions et objectifs des études à mener ([7], alinéa 8.a). Les points (a) à (g) ci-après constituent une démarcation pour la micro-maquette.

(a) L'ensemble humain considéré est la France territoriale ("l'hexagone") ; l'année de référence est l'année 1973, dernière année de croissance nette avant la crise du pétrole. Le propos de la micro-maquette étant d'illustrer le maniement du modèle, on ne vise pas une représentation économétriquement justifiée de cet ensemble, mais seulement une représentation suffisamment "peu choquante" au niveau des ordres de grandeurs pour que des thèmes d'études "réalistes" puissent permettre de fixer les idées en étant significatifs.

(b) Le lot de techniques considérées comme disponibles (susceptibles d'être installées) comporte deux composantes : d'une part les techniques "standard", opérationnelles sur le territoire français en 1973 ; d'autre part des techniques "nouvelles" qui concernent, l'utilisation du potentiel local des énergies renouvelables, la production des biens d'équipements, les économies d'énergie dans l'habitat.

(c) Le niveau d'agrégation des nomenclatures techniques est celui de la nomenclature de produits en 16 postes de l'INSEE (nomenclature d'indicatif "U" : [3], p. 18 ; [12], p. 321) ; ces nomenclatures sont homogènes du point de vue de ce niveau. Les coefficients techniques "standard" [point (b)] sont tirées des données de la comptabilité nationale ; ceux des techniques "nouvelles" sont déduits des précédents par modifications compréhensives. La représentation des techniques est ainsi "pseudo-physique" : on ne cherche pas à faire une agrégation primaire en termes physiques ([7], alinéa 8.c).

(d) Le niveau de la population et le niveau de vie sont des variables endogènes, ce dernier étant représenté, en termes physiques, comme une modulation des consommations finales contingentes. Le niveau de sous-emploi est aussi une variable endogène, mais les mécanismes comportementaux de l'emploi et des salaires ne sont pas représentés.

(e) La représentation de l'organisation économique donne lieu à deux variantes : une variante consolidée ([7], alinéa 8.e) pour les études axées sur les échanges extérieurs (au demeurant toujours pris en compte, en termes physiques conformément au formalisme du modèle, au même niveau de détails que le système productif), une variante multisectorielle pour les études axées sur l'organisation intérieure (par exemple la détermination de prix intérieurs et de modes de financement adaptés à une politique de développement).

(f) Deux thèmes sont privilégiés : d'une part la dépendance économique du pays vis-à-vis de l'extérieur et son contraire, la recherche de l'autonomie, en particulier en ce qui concerne l'approvisionnement énergétique face à l'augmentation du prix de l'énergie importée ; d'autre part la transformation de l'appareil productif, en particulier du système énergétique, via le développement des techniques nouvelles [point (b)].

(g) Deux types d'études sont envisagées : d'une part des études à court terme, autour de l'année de référence, visant à confronter le modèle au phénomène de la croissance et aux turbulences qui ont accompagné la crise de 1973 ; d'autre part des études à long terme, sur une période de 30 ans à partir de l'année de référence. Pour ces dernières : l'environnement économique extérieur (qui est exogène) est supposé être celui, difficile, d'une continuation de la crise ; la population est supposée stationnaire.

Le plan de l'exposé et le schéma de la démarche d'estimation sont les suivants : on présente d'abord au § 2 le cadre nominatif (le système de nomenclatures ; [7], § 2) sous sa variante consolidée [point (e) ci-dessus] ;

puis, dans ce cadre, on présente au § 3 (TABLEAUX 1.6 à 1.10) la description du régime de l'année de référence 1973 [point (a)], dit "régime de référence", qui sert d'articulation entre les diverses sources d'information et les jeux de données à spécifier ; la démarche d'estimation de ce régime est décrite au § 4, tandis qu'un jeu de données techniques en est déduit au § 5 ; enfin, au § 6, ce jeu et le régime de référence sont intégrés dans la problématique des réalisations et déterminations.

## § 2 - NOMENCLATURES

L'appareil nominatif ([7], § 2 et alinéa 8.b) de la micro-maquette va donner lieu à plusieurs variantes (i.e. à plusieurs descriptifs ; ([7], alinéa 2.c) qui comportent toutes les mêmes nomenclatures techniques [biens (I), activités (J), parcs (Jp), transformations (H), stocks (K)], mais peuvent différer par les nomenclatures sectorielles [secteurs (S et Sn), échanges (E)] ou les nomenclatures monétaires et financières [opérations (L et Lf), imputations de répartition (Gd et Gr), imputations financières (Fm et Fp)]. On présente ici la variante consolidée de ces dernières.

Les nomenclatures techniques de base, biens (I) et activités (J), sont schématisées par le tableau suivant où figurent les sigles repérant les postes et les numéros de ces derniers, ainsi que les unités avec lesquelles sont mesurés les biens (Mha=million d'hectares ; Mtep=million de tonnes d'équivalent pétrole ; GF73=milliard de Francs 1973 ; 100ke=cent mille emplois).

BIENS	UNITES	ACTIVITES
1 sol veget.	Mha	1 prod. energ. std.
2 mat. prem. veget.	GF73	2 prod. energ. nouv.
3 mat. prem. min.	GF73	3 prod. b. interm.
4 energie	Mtep	4 prod. equip. base
5 biens interm.	GF73	5 prod. machines 1
6 equip. base	GF73	6 prod. machines 2
7 machines 1	GF73	7 agr. ; bio-industr.
8 machines 2	GF73	8 industr. b. cons.
9 bio-biens	GF73	9 transports
10 biens cons.	GF73	10 gestion
11 serv. transp.	GF73	11 administration
12 serv. gestion	GF73	12 steduc
13 serv. adm.	GF73	13 distribution
14 serv. steduc	GF73	14 entret. pop. std.
15 serv. distrib.	GF73	15 entret. pop. nouv.
16 travail	100ke	

TABLEAU 1.1 - Nomenclatures de biens et d'activités.

La nomenclature de parcs (Jp) est identique à celle d'activités (J). La nomenclature de transformations (H) comporte, d'une part les constructions et démantèlements des divers parcs, d'autre part la transformation, notée  $h_j$ , du parc "entret. pop. std." en le parc "entret. pop. nouv.". On désigne par  $h_j$  [resp.  $h_j$ ] l'élément  $(j_0, j)$  [resp.  $(j, j_0)$ ] de H qui représente la construction [resp. le démantèlement] du parc  $j \in J$ . La nomenclature de stocks (K) est sans utilisation ici.

Ce schéma est complété ci-après par les fiches descriptives des biens et activité (TABLEAUX 1.2 et 1.3) qui explicitent brièvement les postes et indiquent leurs relations avec ceux des nomenclatures de l'INSEE (les indicatifs "U", "T" et "S" correspondent respectivement aux nomenclatures de niveaux 15, 40 et 100 postes ; [3], p. 18 ; [12], pp. 316-323).

1	sol veget.	sol végétal, agricole ou forestier ; ressource ;
2	mat. prem. veget.	matières premières végétales, alimentaires ou industrielles ; bien seulement importé ;
3	mat. prem. min.	matières premières minérale non énergétiques, hors extraction locale ; bien seulement importé ou récupéré localement (S56) ;
4	energie	énergies distribuées (secondaires), y compris utilisations non énergétiques ; U03 ;
5	biens interm.	biens intermédiaires ; U04 ;
6	equip. base	équipements de base, batiments ou génie civil ; U07 ;
7	machines 1	machines standard, équipements ménagers ou professionnels ; U05A, U05B, U05C ;
8	machines 2	machines nouvelles, bien non produit localement dans le régime de référence ;
9	bio-biens	produits, alimentaires ou industriels, d'origine biologique (végétale ou animale) ; U01, U02 ;
10	biens cons.	biens de consommation, intermédiaire ou finale ; U06 ;
11	serv. transp.	services de transport, hors automobiles ; U09 ;
12	serv. gestion	services de gestion, administration privée, études ; T33 sauf S56 ; T35 ;
13	serv. adm.	services d'administration publique, services financiers ; T36, T37, S90-91 ;
14	serv. steduc	services de santé, d'éducation ou culturels, publics ou privés ; T34 sauf S66, S92-99 ;
15	serv. distrib.	services de distribution, gros ou détail ; U08, T29, T30, S66 ;
16	travail	travail, tous types.

TABLEAU 1.2 - Fiches descriptives des biens.

1	prod. energ. std.	production d'énergie (bien no 4), techniques standard ; U03 ;
2	prod. energ. nouv.	production d'énergie (bien no 4), techniques nouvelles basées sur le potentiel renouvelable local ;
3	prod. b. interm.	production des biens intermédiaires (bien no 5) ; U04 ;
4	prod. equip. base	production des équipements de base (bien no 6) ; U07 ;
5	prod. machines 1	production des machine standard (bien no 7) ; U05A, U05B, U05C ;
6	prod. machines 2	production des machines nouvelles (bien no 8) ;
7	agr. ; bio-industr.	production des bio-biens (bien no 9), agriculture, sylviculture et industries correspondantes ; U01, U02 ;
8	industr. b. cons.	production des biens de consommation (bien no 10) ; U06 ;
9	transports	production des services de transport (bien no 11) ; U09 ;
10	gestion	production des services de gestion (bien no 12) ; T33 sauf S56, T35 ;
11	administration	production des services d'administration publique (bien no 13) ; T36, T37, S90-91 ;
12	steduc	production des services de santé et d'éducation (bien no 14) ; T34 sauf S66, S92-99 ;
13	distribution	production des services de distribution (bien no 15) ; U08, T29, T30, S66 ;
14	entret. pop. std.	entretien de la population (consommations finales), habitat standard ; offre du travail (bien no 16) ;
15	entret. pop. nouv.	entretien de la population (consommations finales), habitat nouveau ; offre du travail (bien no 16).

TABLEAU 1.3 - Fiches descriptives des activités.



A propos et au delà de leurs relations avec les nomenclatures de l'INSEE qui sont discutées ci-après, on souligne d'abord que les nomenclatures de biens et d'activités introduites s'inscrivent précisément dans le cadre formel de la représentation du système productif en termes physiques qui est celui du modèle ATHEMA ([7], alinéas 2.a, 8.b, 8.d) et non dans le cadre formel du modèle de Leontief qui est celui des TES. Par exemple ces deux nomenclatures ne sont pas en correspondance biunivoque ([7], alinéa 8.d, point(1)) : la première inclut des postes représentant les ressources ou les matières premières (biens nos 1 à 3) lesquelles ne sont pas produites localement par des activités répertoriées, tandis que la seconde comporte des redondances (activités diverses produisant le même bien, nos 1 et 2, 14 et 15).

Dans ce sens, les fiches descriptives ci-dessus situent les nomenclatures en cause indépendamment de leurs relations avec celles de l'INSEE, même si ces dernières permettent de lever certaines ambiguïtés. La présentation qui est faite ici de l'appareil nominatif du modèle ATHEMA se situe dans sa logique propre et vise à être indépendante de celui de l'INSEE : un lecteur non familiarisé avec ce dernier ou principalement intéressé par l'exploitation de la micro-maquette peut sauter ci-après à la description des autres nomenclatures.

Cela étant, les nomenclatures présentées sont obtenues à partir de celle en 16 postes de l'INSEE par trois types de modifications : d'abord, en ce qui concerne les biens, introduction des ressources, des matières premières et du travail (nos 1 à 3 et 16) ; ensuite, tant pour les biens que pour les activités, redéfinition des postes concernant, soit les équipements hors bâtiments (biens nos 7 et 8, activités nos 5 et 6), soit certains services (biens nos 12 à 15, activités nos 10 à 13) ; enfin adjonction, à la liste de techniques "standard" [point (b) du § 1 ci-dessus] ainsi obtenue, des techniques nouvelles de production (activités nos 2 et 6), ainsi que des activités d'entretien de la population (activités nos 14 et 15) qui permettent de rendre endogènes le niveau de la population et le niveau de vie [point (c) du § 1, point (e)] ci-après].  
(du § 3

En ce qui concerne les équipements hors bâtiments, la modification peut être analysée comme suit : d'abord agrégation en un bien "machines" des trois postes d'indicatif "U05" ; puis désagrégation de ce bien en distinguant les machines produites localement dans le régime de référence (bien "machines 1") et celles qui ne le sont pas (bien "machines 2") ; enfin introduction d'une activité nouvelle de production de ce dernier bien. Cette modification a pour but de permettre l'étude de processus d'autonomisation du pays relativement aux biens d'équipement en cause [point (f) du § 1]. Elle pourrait évidemment être généralisée à d'autres biens : elle pallie la rigidité, issue de celle du modèle de Leontief, des nomenclatures de type "entrées-sorties" où biens et activités sont identifiés via le concept de branche ([3], § II.1, pp. 18, 19 ; [7], alinéa 8.d, point (1)).

En ce qui concerne les services, la modification consiste à introduire une classification de type fonctionnel, physiquement et économiquement significative, au lieu de la classification d'origine comptable de la nomenclature de l'INSEE. Cette modification réclame un redécoupage et nécessite de faire intervenir les niveaux supérieurs d'indicatifs "T" et "S" en plus du niveau d'indicatif "U" où se situe l'agrégation. Elle constitue un autre essai pour pallier la rigidité des nomenclatures de type "entrée-sortie", rigidité ici due aux exigences de l'estimation basée sur des données comptables.

La nomenclature de secteurs (S ; [7], alinéa 2.a) est, dans cette variante consolidée ([7], alinéa 8.e), réduite à deux postes : un secteur "intérieur"  $s_n$  qui constitue l'unique élément de  $S_n$ , et un secteur "extérieur"  $s_x$ .

La nomenclature d'échanges (E ; [7], alinéa 2.b) correspondante est donc réduite aux importations [triplets  $(i, s_x, s_n)$  avec  $i \in I$ ] et aux exportations [triplets  $(i, s_n, s_x)$  avec  $i \in I$ ]. Le TABLEAU 1.4 ci-après indique les échanges considérés comme possibles, c'est à dire ce qu'est E.

2	mat. prem. veget.	imp		La mention "imp" (resp "exp") repère les biens (colonne de gauche) qui sont supposés pouvoir donner lieu à importations (resp. à exportations), les biens omis étant exclus des échanges.	
3	mat. prem. min.	imp			
4	energie	imp			
5	biens interm.	imp	exp		
7	machines 1	imp	exp		
8	machines 2	imp	exp		
9	bio-biens	imp	exp		
10	biens cons.	imp	exp		
11	serv. transp.	imp	exp		On note que tous les biens pouvant donner lieu à exportations peuvent aussi donner lieu à importations.
12	serv. gestion	imp	exp		
13	serv. adm.	imp	exp		

TABLEAU 1.4 - Nomenclature d'échanges.

Enfin, les nomenclatures monétaires et financières sont fournies par le TABLEAU 1.5 ci-après qui schématise le cadre comptable :

OPERATIONS \ SECTEURS	Emplois		Ressources	
	intérieur	extérieur	intérieur	extérieur
L f 1 emprunts	Dm (Fm)	Dp (Fp)	Rm (Fm)	Rp (Fp)
L f 2 prêts	Dp (Fp)	Dm (Fm)	Rp (Fp)	Rm (Fm)
L r 3 intérêts des emprunts	Db (Gd)			Rb (Gr)
L r 4 intérêts des prêts		Db (Gd)	Rb (Gr)	

TABLEAU 1.5 - Cadre comptable.

La nomenclature d'opérations (L ; [7], aliéa 2.b) est fournie par la colonne de gauche et repère les lignes du tableau : les deux premiers postes (nos 1 et 2) constituent la nomenclature d'opérations financière (Lf) et les deux derniers (nos 3 et 4) celle d'opérations de répartition (Lr), les significations de ces postes étant précisée par les nomenclatures d'imputation (voir ci-après). La nomenclature de secteurs (S) repère les colonnes du tableau, en emplois et en ressources.

Les nomenclatures d'imputations (Fp, Fm, Gd, Gr ; [7], alinéa 2.b) sont indiquées dans les cases du tableau : le couple (l,s), où l désigne une opération et s un secteur, est dans la nomenclature NN d'imputations (NN valant Fp, Fm, Gd ou Gr) si l'indication "(NN)" figure dans la case correspondant à la ligne l et à la colonne s, cela en emplois ou en ressources. De plus, dans chaque case concernée, figure le type de la variable monétaire ou financière correspondante ([7], alinéa 3.b).

Par exemple, la nomenclature Fm d'imputations en dettes est constituée du couple (emprunt,intérieur) et du couple (prêts,extérieur), ce qui signifie ([7], alinéa 2.b) que, dans l'opération "emprunts", c'est le secteur intérieur qui emprunte au secteur extérieur, Rm correspondant au montant emprunté et Dm au montant remboursé.

En fait, le TABLEAU 1.5 schématise les sections "opérations de répartition" et "opérations financières" du tableau économique d'ensemble ([3], chap. I, III, IV) associé au descriptif considéré. La méthode de présentation utilisée ici, qui est sans doute lourde pour un tableau aussi rudimentaire, est générale et s'inscrit dans la visée illustrative de la micro-maquette ; elle sera utile pour des descriptifs plus complexes.

Le multiplet (I, J, S, L; H, E, Lf, Gd, Gr, Fp, Fm) constitué des nomenclatures ainsi spécifiées sera appelé descriptif primaire de la micro-maquette. Divers descriptifs fondamentaux ([7], alinéa 2.c), statiques ou évolutifs, peuvent lui

être associés en le complétant diversement par une nomenclature de périodes. En particulier, le descriptif fondamental de référence, celui qui est sous-jacent au régime de référence (§ 3 et §6 ci-après), est obtenu en prenant une nomenclature de périodes à un seul élément, avec une période élémentaire de un an.

### § 3 - REGIME DE REFERENCE : DESCRIPTION INITIALE

On explicite ici une description extensive du régime de l'année de référence [point (a) du § 1], dit régime de référence, qui va constituer la base de données intermédiaire, organisée dans le cadre formel du modèle relativement au descriptif consolidé (§ 2), à partir de laquelle sera défini le jeu de données techniques au § 5.

Ce régime, qui s'inscrit dans le cadre du descriptif fondamental de référence (§ 2), est d'abord présenté ci-dessous, comme s'il s'agissait d'un résultat d'observation, par les TABLEAUX 1.6 à 1.10 qui, au prix de certaines redondances, font apparaître les principaux bilans concernés ; des indications complémentaires sont ensuite apportées par les points (a) à (k) qui suivent les tableaux. Cette description initiale du régime vise à être indépendante de son estimation qui est discutée au § 4 : un lecteur principalement intéressé par l'exploitation de la micro-maquette, en tant qu'illustration du modèle ATHEMA [point (a) du § 1], peut directement sauter au § 5 après cette présentation.

Les TABLEAUX 1.7, 1.8, 1.9 et 1.10 fournissent, pour le régime de référence, les bilans des productions et consommations (signes moins), des divers biens  $i \in I$ , relatives respectivement au fonctionnement, aux échanges, à la maintenance et aux constructions. Plus précisément, les matrices  $\underline{CF}(i,j)$  ( $i \in I, j \in J$ ),  $\underline{CZ}(i,i')$  ( $i \in I, i' \in I_{imp}$ ),  $\underline{CP}(i,j)$  ( $i \in I, j \in J$ ) et  $\underline{CU}(i,j)$  ( $i \in I, j \in J$ ) qu'ils présentent sont liées au régime de référence par les relations :

$$(1.3.1) \quad \underline{CF}(i,j) = \underline{Cf}(i,j) \underline{Xf}(j) \quad (i \in I, j \in J) \quad \text{pour le TABLEAU 1.7 ;}$$

$$(1.3.2) \quad \underline{CZ}(i,i') = \underline{Cz}(i, \underline{e}_i) \underline{Xz}(\underline{e}_i) \quad (i \in I, i' \in I_{imp}) \quad \text{pour le TABLEAU 1.8 ;}$$

$$(1.3.3) \quad \underline{CP}(i,j) = \underline{Cp}(i,j) \underline{Xp}(j) \quad (i \in I, j \in J) \quad \text{pour le TABLEAU 1.9 ;}$$

$$(1.3.4) \quad \underline{CU}(i,j) = \underline{Cu}(i, h_j) \underline{Xu}(h_j) \quad (i \in I, j \in J) \quad \text{pour le TABLEAU 1.10.}$$

Dans ces relations, les notations générales sont celles du texte théorique [7] (§ 2, 3, 4), avec la simplification consistant en ce que les mentions de l'unique période et de l'unique secteur intérieur sont omises ; par exemple,  $Xz(e)$  est mis pour  $Xz(t_0, e)$ , etc. De plus on note : d'une part  $\underline{Cf}$ ,  $\underline{Cp}$ ,  $\underline{Cu}$ ,  $\underline{Cz}$  les types de coefficients techniques du jeu de données relatif au régime de référence ; d'autre part  $\underline{Xf}(j)$  ( $j \in J$ ),  $\underline{Xp}(j)$  ( $j \in J$ ),  $\underline{Xu}(h)$  ( $h \in H$ ),  $\underline{Xz}(e)$  ( $e \in E$ ), les niveaux des variables de types  $Xf$ ,  $Xp$ ,  $Xu$ ,  $Xz$  dans ce régime. On désigne enfin, en plus des notations introduites au § 2, par  $I_{imp}$  l'ensemble des biens pouvant donner lieu à importation (biens nos 2 à 5 et 7 à 13 ; TABLEAU 1.4, § 2) et par  $\underline{e}_i$  l'élément  $(i, s_x, s_n)$  de la nomenclature d'échanges  $E$  qui représente l'importation du bien  $i \in I_{imp}$ .

Les relations ci-dessus fournissent les significations, dans le cadre formel du modèle, des chiffres (membres de gauche) donnés par les TABLEAUX 1.7 à 1.10, cela en fonction de coefficients techniques et de niveaux (membres de droite) qui sont inconnus à ce stade de la démarche et qu'il s'agit justement de déterminer : cette détermination est faite au § 5.

Pour chacun des TABLEAUX 1.7 à 1.10 : la nomenclature de biens est rappelée dans la colonne de gauche, les biens éventuellement omis correspondant à des lignes de zéro ; la matrice en cause figure dans les colonnes suivantes, colonnes repérées par le numéro du second indice (numéro de bien pour le TABLEAU 1.8,

d'activité pour les autres, les numéros omis correspondant à des colonnes de zéros) ; les quantités des divers biens sont mesurés avec les unités indiquées par le TABLEAU 1.1 ; la colonne de droite (colonne "Totaux") fournit, ligne par ligne, les soldes (les totaux) des colonnes précédentes.

Le TABLEAU 1.6 rassemble les soldes des tableaux précédents en un bilan global qui permet de vérifier, pour chaque bien  $i \in I$ , ce qu'il en est de la contrainte de conservation  $xb(i)$  ([7], alinéa 5.a) : les colonnes "Fonct.", "Ech.", "Maint.", "Constr." reproduisent d'abord les colonnes "Totaux" des TABLEAUX 1.7 à 1.10 respectivement ; la colonne "Dot-prl" indique les dotations  $[A'(i) (i \in I)]$  et prélèvements  $[-A''(i) (i \in I)]$ , avec le signe moins] retenus ([7], alinéa 5.a) ; la colonne "Tot.int", i.e. totaux intérieurs, contient les sommes des colonnes précédentes ; les colonnes "imp." et "exp." contiennent respectivement les quantités importées et les quantités exportées (avec le signe moins) ; enfin, la colonne "Exced." fournit la vérification requise des contraintes de types  $xb$  en indiquant les sommes des colonnes "Tot.Int", "imp" et "exp", lesquelles doivent être  $\geq 0$ . De plus, les colonnes "Import." et "Export." fournissent les montants en valeur courante respectivement des importations et des exportations, cela par biens et au total (ligne "Tot.").

BIENS	Fonct.	Ech.	Maint.	Constr.	Dot-Prl	Tot.Int.
1 sol veget.	.	.	-42.15	.	50.00	7.85
2 mat. prem. veget.	-15.62	.	.	.	.	-15.62
3 mat. prem. min.	-7.44	.	2.18	.	.	-5.26
4 energie	-114.29	.	-10.46	.	.	-124.75
5 biens interm.	23.29	.	-8.45	-11.39	.	3.45
6 equip. base	153.86	.	-17.87	-135.99	.	.
7 machines 1	129.48	.	-38.92	-63.58	.	26.98
8 machines 2	-6.67	.	-2.25	-8.47	.	-17.39
9 bio-biens	58.44	.	-43.69	-1.87	.	12.88
10 biens cons.	64.40	.	-56.44	-2.04	.	5.92
11 serv. transp.	20.09	-4.87	-7.12	.	.	8.10
12 serv. gestion	41.89	-7.58	-16.59	-12.63	.	5.09
13 serv. adm.	52.56	-5.58	-5.08	.	-42.00	-0.10
14 serv. steduc	23.79	.	-28.79	.	.	.
15 serv. distrib.	57.61	-4.82	-52.79	.	.	.
16 travail	5.87	.	.	.	.	5.87

  

BIENS	Imp.	Exp.	Exced.		Import.	Export.
1 sol veget.			7.85			
2 mat. prem. veget.	15.62		.		15.62	
3 mat. prem. min.	5.26		.		5.26	
4 energie	124.75		.		21.62	
5 biens interm.	39.06	-42.51	.		39.06	42.08
6 equip. base			.			
7 machines 1	29.38	-56.36	.		29.38	55.80
8 machines 2	17.39	.	.		17.39	.
9 bio-biens	18.90	-31.78	.		18.90	31.46
10 biens cons.	19.84	-25.76	.		19.84	25.50
11 serv. transp.	10.97	-19.07	.		10.97	18.88
12 serv. gestion	6.73	-11.82	.		6.73	11.70
13 serv. adm.	0.73	-0.63	.		0.73	0.62
14 serv. steduc			.			
15 serv. distrib.			.	Tot.	185.50	186.04
16 travail			5.87			

TABLEAU 1.6 - Bilan global.

BIENS \ ACTIVITES	1	3	4	5	7	8	9
2 mat. prem. veget.	.	-5.26	.	.	-10.36	.	.
3 mat. prem. min.	.	-8.20	.	.	.	.	.
4 energie	35.95	-42.29	-7.21	-6.70	-7.35	-8.90	-19.00
5 biens interm.	-1.24	157.23	-30.60	-42.77	-13.64	-22.23	-1.36
6 equip. base	-1.93	-0.81	176.33	-0.98	-1.21	-0.40	-1.55
7 machines 1	-1.03	-2.89	-6.95	185.52	-2.38	-1.32	-4.09
8 machines 2	-0.14	-0.39	-0.92	-1.17	-0.32	-0.18	-0.54
9 bio-biens	-0.08	-1.83	.	.	228.83	-11.07	.
10 biens cons.	-0.74	-3.00	-11.77	-3.48	-4.39	193.95	-0.82
11 serv. transp.	-2.79	-6.10	-4.86	-3.20	-1.91	-5.24	82.86
12 serv. gestion	-1.76	-7.99	-15.69	-7.83	-3.84	-8.77	-3.23
13 serv. adm.	-1.13	-4.37	-6.19	-5.21	-5.07	-5.35	-2.81
14 serv. steduc	-0.46	-2.99	-3.63	-3.09	-4.86	-2.88	-1.93
15 serv. distrib.	-0.97	-3.76	-5.34	-4.51	-4.40	-4.62	-4.13
16 travail	-2.92	-16.38	-19.87	-18.21	-31.09	-16.98	-12.37

BIENS \ ACTIVITES	10	11	12	13	14	Totaux
2 mat. prem. veget.	.	.	.	.	.	-15.62
3 mat. prem. min.	.	.	.	.	0.76	-7.44
4 energie	-1.26	-3.80	-5.28	-6.63	-41.82	-114.29
5 biens interm.	-1.92	-2.06	-2.05	-5.63	-10.44	23.29
6 equip. base	-0.29	-4.57	-2.06	-1.26	-7.41	153.86
7 machines 1	-1.47	-8.61	-1.39	-8.54	-17.37	129.48
8 machines 2	-0.20	-1.14	-0.18	-1.14	-0.35	-6.67
9 bio-biens	.	-1.61	-4.43	-21.48	-129.89	58.44
10 biens cons.	-5.52	-3.36	-9.64	-2.75	-84.08	64.40
11 serv. transp.	-3.67	-4.77	-2.73	-16.83	-10.67	20.09
12 serv. gestion	179.59	-16.56	-5.15	-6.30	-60.58	41.89
13 serv. adm.	-4.92	143.44	-4.22	-5.92	-45.69	52.56
14 serv. steduc	-1.44	-3.87	148.67	-4.58	-95.15	23.79
15 serv. distrib.	-4.27	-3.52	-3.65	219.94	-123.16	57.61
16 travail	-11.09	-29.62	-21.35	-35.07	220.82	5.87

TABLEAU 1.7 - Bilan de fonctionnement.

BIENS \ BIENS ECH.	2	3	4	5	7	8	9
11 serv. transp.	-0.37	-0.12	-1.19	-1.53	-0.50	-0.30	-0.17
12 serv. gestion	-0.64	-0.21	-0.76	-2.00	-1.22	-0.73	-0.64
13 serv. adm.	-0.42	-0.14	-0.70	-1.08	-0.84	-0.51	-0.62
14 serv. distrib.	-0.36	-0.12	-0.62	-0.92	-0.73	-0.44	-0.53

BIENS \ BIENS ECH.	10	11	12	13	Totaux
11 serv. transp.	-0.52	.	-0.15	-0.02	-4.87
12 serv. gestion	-0.87	-0.44	.	-0.07	-7.58
13 serv. adm.	-0.73	-0.34	-0.20	.	-5.58
15 serv. distrib.	-0.64	-0.29	-0.15	-0.02	-4.82

TABLEAU 1.8 - Bilan des consommations d'importation.

BIENS \ ACTIVITES	1	3	4	5	7	8	9
1 sol veget.	.	.	.	.	-42.15	.	.
3 mat. prem. min.	0.10	0.39	0.05	0.14	0.11	0.13	0.65
5 biens interm.	-0.16	-0.40	-0.03	-0.17	-0.17	-0.23	-0.16
6 equip. base	-0.54	-0.44	-0.12	-0.30	-0.49	-0.25	-0.93
7 machines 1	-1.18	-1.80	-0.86	-1.11	-1.68	-0.62	-1.95
8 machines 2	-0.16	-0.24	-0.11	-0.15	-0.22	-0.08	-0.26
9 bio-biens	.	.	.	.	-0.39	.	.
10 biens cons.	-0.01	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	.
12 serv. gestion	-0.05	-0.08	-0.20	-0.09	-0.23	-0.09	-0.05
PARCS/FONCT. (%)	107	112	110	115	114	115	109
BIENS \ ACTIVITES	10	11	12	13	14	Totaux	
1 sol veget.	.	.	.	.	.	-42.15	.
3 mat. prem. min.	0.02	0.32	0.03	0.05	0.19	2.18	.
5 energie	.	.	.	.	-10.46	-10.46	.
5 biens interm.	-0.02	-0.07	-0.04	-0.04	-6.96	-8.45	.
6 equip. base	-2.23	-3.54	-1.63	-1.30	-6.10	-17.87	.
7 machines 1	-0.30	-2.11	-0.41	-0.85	-26.05	-38.92	.
8 machines 2	-0.04	-0.28	-0.06	-0.11	-0.54	-2.25	.
9 bio-biens	.	.	.	.	-43.30	-43.69	.
10 biens cons.	-0.03	-0.14	-0.04	-0.03	-56.06	-56.44	.
11 serv. transp.	.	.	.	.	-7.12	-7.12	.
12 serv. gestion	-0.15	-0.21	-0.06	-0.23	-15.15	-16.59	.
13 serv. adm.	.	.	.	.	-5.08	-5.08	.
14 serv. steduc	.	.	.	.	-23.79	-23.79	.
15 serv. distrib.	.	.	.	.	-52.79	-52.79	.
PARCS/FONCT. (%)	105	105	103	104	111		

TABLEAU 1.9 - Bilan de maintenance.

BIENS \ ACTIVITES	1	3	4	5	7	8	9
5 biens interm.	-1.31	-3.57	-0.29	-1.54	-1.20	-1.63	-0.75
6 equip. base	-4.28	-3.97	-1.12	-2.70	-3.48	-1.77	-4.22
7 machines 1	-3.54	-8.33	-3.10	-6.31	-8.23	-3.12	-11.02
8 machines 2	-0.47	-1.11	-0.41	-0.84	-1.10	-0.41	-1.47
9 bio-biens	.	.	.	.	-1.87	.	.
10 biens cons.	-0.03	-0.20	-0.06	-0.10	-0.12	-0.13	-0.03
12 serv. gestion	-0.22	-0.38	-0.99	-0.48	-1.13	-0.44	-0.24
CROISS. PARCS (%)	2.59	4.70	4.36	6.64	5.01	4.26	4.45
BIENS \ ACTIVITES	10	11	12	13	14	Totaux	
5 biens interm.	-0.14	-0.45	-0.29	-0.22	.	-11.39	.
6 equip. base	-16.27	-24.02	-12.08	-7.19	-54.89	-135.99	.
7 machines 1	-2.34	-8.65	-3.78	-5.16	.	-63.58	.
8 machines 2	-0.32	-1.15	-0.50	-0.69	.	-8.47	.
9 bio-biens	.	.	.	.	.	-1.87	.
10 biens cons.	-0.22	-0.56	-0.38	-0.21	.	-2.04	.
12 serv. gestion	-0.77	-1.07	-0.31	-1.17	-5.43	-12.63	.
CROISS. PARCS (%)	5.82	6.70	6.80	6.54	1.91		

TABLEAU 1.10 - Bilan des constructions.

Dans les TABLEAUX 1.9 et 1.10 les lignes "PARCS/FONCT." et "CROISS. PARCS" indiquent, en pourcentages, respectivement les taux de suréquipement  $\underline{tp}(j)$  et les taux de croissance  $\underline{tu}(j)$  des divers parcs j pour le régime de référence :

(1.3.5) pour  $j \in J_{st}$ ,  $\underline{tp}(j) = \underline{Xp}(j)/\underline{Xf}(j)$  et  $\underline{tu}(j) = \underline{Xu}(j)/\underline{Xp}(j)$ ,

où  $J_{st}$  désigne l'ensemble des activités standard (nos 1, 3 à 5 et 7 à 14), celles qui sont présentes dans le régime de référence.

Les points (a) à (k) ci-dessous complètent la description brute fournie par les TABLEAUX 1.6 à 1.10, soit en soulignant certaines caractéristiques marquantes, soit en apportant des informations complémentaires en particulier de type méthodologique.

(a) Seules sont comptabilisées les utilisations agricoles ou forestières du sol, cela via la circulation du bien "sol veget." (no 1) qui agrège les deux types d'utilisation (TABLEAU 1.2, § 2). Ce bien est considéré comme une ressource primaire dont les apports résultent seulement d'une dotation ([7], alinéa 5.a), laquelle représente donc la disponibilité totale (50.00 Mha ; TABLEAU 1.6). Que ce bien ne puisse pas être importé (TABLEAU 1.4) indique en particulier que le sol est contrôlé localement, ne dépend pas des échanges extérieurs. Par ailleurs, pour chaque activité, l'utilisation du sol est prise en compte comme une consommation du bien "sol veget.". En l'occurrence, seule l'activité "agr. ; bio-industr." (no 7), qui agrège agriculture, sylviculture et industries correspondantes (TABLEAU 1.3), donne lieu à cette consommation, laquelle est mise en maintenance, i.e. associée au parc correspondant, pour permettre de prendre en compte la rigidité de l'utilisation du sol, en particulier en ce qui concerne la disponibilité et les transformations ([7], alinéa 4.b).

(b) Les productions du bien "mat. prem. min." (no 3) qui figurent dans les TABLEAUX 1.6, 1.7 et 1.9 correspondent à des apports par recupération lors de l'entretien des équipements. Ces productions sont associées seulement à la maintenance pour toutes les activités, sauf pour l'activité "entret. pop. std." en vertu de la ventilation des biens d'équipement ménager entre fonctionnement et maintenance [point (e)].

(c) La production locale d'énergie (35.95 Mtep ; TABLEAU 1.7) est comptée, conformément à la définition du bien "énergie" (TABLEAU 1.2), en énergie secondaire, i.e. après déduction des pertes évaluées à 15% du total primaire (42.30 Mtep ; [2], p. II.17). Cette production se répartit entre le charbon (16.49 Mtep), le pétrole (1.89 Mtep), le gaz (6.00 Mtep) et l'électricité directe (11.57 Mtep). La consommation de produits pétroliers utilisés comme matières premières, lesquels sont agrégés au bien "énergie" (TABLEAU 1.2), est affectées à l'activité "prod. b. interm." (no 3) et l'apport correspondant fait partie des importations.

(d) Le potentiel maximum de production locale d'énergie, correspondant aux techniques standard représentées par l'activité "prod. energ. std." en cause ici, est évalué à 35% de plus que la production de 1973 [point (c)], cela pour une période de quelques décennies à compter de l'année de référence. La productibilité annuelle correspondante, de 48.53 Mtep, pourrait se répartir entre 35 Mtep (i.e. 52.50 Mt) de charbon et le reste d'électricité hydraulique : une production de 52.50 Mt par an pendant par exemple 30 ans [champ temporel de la prospective à long terme visée ; point (g) du § 1] réclame des réserves de l'ordre de 1.5 Milliards de tonnes, réserves inférieures à celles que recelle le territoire Français, si l'évaluation n'est pas limitée par des considérants économiques conjoncturels ([1], p. 172).

(e) Les consommations finales de la population sont imputées à l'activité

"entret. pop. std." (no 14) et ventilées entre fonctionnement et maintenance, y compris en ce qui concerne les biens d'équipement (nos 5 à 8). La ventilation est faite selon le principe suivant qui a pour but de permettre une mesure endogène du niveau de vie par les rapport  $X_p(j_p)/X_f(j_p)$  pour les activité  $j_p$  d'entretien de la population [point (d) du § 1 ; point (d) du § 5] : les consommations imputées en fonctionnement correspondent au strict entretien de la vie, relativement au standard de besoins fondamentaux en cours [point (f)] , tandis que les consommations imputées en maintenance représentent la part contingente, modulable sans compromettre la survie ou au contraire entrainer des gaspillages absurdes.

(f) Le standard de besoins fondamentaux est concrétisé, repéré numériquement, par le vecteur des consommations finales mises en fonctionnement, tandis que la demande modulable l'est par le vecteur des consommations finales mises en maintenance [point (e)]. Plus structurellement, une image analytique du genre de vie est fournie par le vecteur des fractions, bien par bien, des consommations finales qui sont considérées comme modulables, i.e. mises en maintenance. Les fractions retenues sont comprises, hormis pour les biens d'équipement, entre 20% et 40% ; elles constituent l'une des hypothèses sous-jacentes à la micro-maquette que l'on ne cherche pas à justifier, leur signification étant discutés à propos des coefficients techniques correspondants [point (d) du § 5]. Par exemple, ces fractions sont respectivement de 20%, 25% et 40% pour les biens "energie", "bio-biens,", "biens cons."

(g) La production du bien "travail" (no 16) par l'activité "entret. pop. std." représente l'offre de travail, mesurée par le nombre d'emplois potentiels. Cette production, qui est la contrepartie en travail des consommations finales, est mise entièrement en fonctionnement, contrairement à ces dernières [point (e)] : cela signifie que l'offre de travail est supposé ne dépendre que des conditions de strict entretien.

(h) Le bien "serv. transp." ne couvrant pas l'utilisation des voitures automobiles (TABLEAU 1.2), les consommations correspondantes à cette utilisation (en particulier d'énergie et de biens d'équipement) sont imputées directement aux diverses activités utilisatrices : en fait principalement (pour 90% ; [4], ANNEXE 1, pp. 2, 3) à l'activité "entret. pop. std." (no 14). Ainsi, les consommations de machines, surtout du bien "machines 1", par cette activité correspondent en partie à l'entretien du parc de voitures particulières. Ces consommations finales, ainsi que celles des autres biens d'équipement, sont aussi ventilées entre fonctionnement et maintenance [point(e)]. Les fractions mises en maintenance sont de 45% pour le bien "equ. base" et de 60% pour les machines.

(i) Les consommations de défense sont représentées par le prélèvement du bien "serv. adm." (42.00 GF73 ;TABLEAU 1.6). Ainsi détachées, elles apparaissent comme consommations finales, sans l'introduction d'une activité et d'un bien spécifiques du service de défense. De ce fait, elles sont exogènes dans toute exploitation de la micro-maquette.

(j) Les consommations d'échanges (TABLEAU 1.8) sont davantage illustratives [point (a) du § 1] que représentatives. C'est ainsi que seules les consommations dues aux importations sont prises en compte : cette option est à rapprocher de la démarche consistant à évaluer les consommation de transport en les affectant "au forfait" aux activités consommatrices. On note aussi que ces consommations sont limitées aux services directement concernés (biens nos 11 à 13 et 15) : les autres consommations (par exemple d'énergie ou de travail) sont alors indirectes, induites par celles des activités produisant ces services.

(k) Les prix,  $Pr(e)$  ( $ecE$ ) dits prix de référence, retenus pour déterminer le bilan en valeur des échanges extérieurs (TABLEAU 1.6) à partir des volumes



sont les suivants : d'une part le prix de l'énergie importée est de 0.1733 GF73 par Mtep, ce qui correspond à environ 5 Dollars par baril pour un Dollar à 5 Francs 1973 [voir aussi le point (e) de l'étape no 9 du § 4] ; d'autre part les prix relatifs aux autres importations sont pris égaux à 1.00 et ceux relatifs aux exportations à 0.99, valeurs illustratives qui sont à rapprocher de ce que, mise à part l'énergie, les biens donnant lieu à échanges extérieurs sont mesurés en GF73.

#### § 4 - ESTIMATION DU REGIME DE REFERENCE

Pour la détermination du régime de référence, l'idéal serait d'explicitier un estimateur à arbitrages contrôlés, c'est à dire un ensemble de procédures permettant d'estimer les diverses composantes de ce régime de façon algorithmique à partir, d'une part des bases de données standard de la comptabilité nationale [point (c) du § 1], d'autre part de quelques paramètres précisant les options retenues dans les arbitrages. Sous sa forme initiale le projet de la micro-maquette comportait l'explicitation d'un tel estimateur.

En fait, l'auteur n'a eu, ni les moyens d'information nécessaires pour n'utiliser que des sources répertoriées (et de préférence accessibles informatiquement), ni la force de travail nécessaire pour systématiser (et programmer) tous les arbitrages : il a donc dû largement utiliser informations "à dires d'experts", documents non standard et arbitrages "sauvages". Bien que la majeure partie des tâtonnements ainsi effectués ait été consignée, au fil du travail, dans un "bestiaire", il ne peut être question de les mettre suffisamment en forme pour pouvoir les présenter ici : ce serait déjà définir l'estimateur envisagé.

En conséquence, on se limite à la présentation schématique de la démarche, en détaillant certains points importants, mais sans chercher à expliciter de façon numériquement exhaustive tous les arbitrages auxquels on a procédé. Ce défaut d'explicitation des hypothèses sous-jacentes au jeu de données techniques serait contraire au propos méthodologique du modèle ATHEMA ([7], alinéa 1.d) si les réalisations du modèle en cause ici avaient une visée opérationnelle. Par contre, la visée illustrative de la micro-maquette peut s'en accommoder pourvu qu'un minimum de cohérence soit respecté au niveau des ordres de grandeur [§ 1, en particulier point (a)] : c'est le régime de référence en lui-même, son interprétation par rapport à l'appareil conceptuel du modèle, qui comptent à ce sujet plus que son mode d'estimation (introduction du §3 et fin du § 5).

L'exposé est donc organisé de telle sorte que l'étude du présent paragraphe n'est pas indispensable à la compréhension de la micro-maquette. Ce point est important car l'appareil conceptuel et les techniques de la comptabilité nationale sur lesquels repose l'estimation ne sont pas ceux du modèle ATHEMA : ce paragraphe s'adresse plutôt aux économètres, son objectif étant de leur soumettre une première tentative pour établir un pont entre la comptabilité nationale et le modèle ATHEMA, cela dans l'espoir que puisse s'établir, entre eux et l'auteur, une collaboration en vue de construire des réalisations économétriques moins rudimentaires que la micro-maquette et si possible assorties d'un estimateur à arbitrages contrôlés.

L'estimation du régime de référence a été faite à partir de sources économétriques diverses dont les principales sont : le Tableau de entrées-sorties, le Tableau de ventilation de la FBCF par branches et par produits, le compte de capital fixe avec ventilation par branches. Ces tableaux de départ sont appelés ci-après respectivement TES, Tableau de FBCF et Tableau de CCF ; les versions utilisés sont celles de l'année 1973, aux prix courants et hors TVA déductible, principalement au niveau 15 postes (nomenclature

d'indicatif "U"), mais aussi accessoirement aux niveaux 40 et 100 postes (indicatifs "T" et "S").

Cela étant, la démarche d'estimation utilisée se décompose en une suite d'étapes amenant pas à pas, par des modifications contrôlées, les données des tableaux de départ dans les cadres du modèle, pour constituer le régime de référence annoncé. On décrit ci-après chacune de ces étapes.

Etape no 1 - Construction, à partir des TES, d'un TABLEAU PREL.1 qui est une version préliminaire du bilan de fonctionnement (TABLEAU 1.7), déjà basé sur les nomenclatures du modèle, mais ignorant les ressources, les matières premières et les activités nouvelles (biens nos 1 à 3, 8, 16 et activités nos 2, 6, 15).

La construction de ce TABLEAU PREL.1 concerne seulement les modifications de la nomenclature en 16 postes qui sont relatives aux équipements et aux services (§ 2 ci-dessus) ; dans ce sens, elle comporte, d'une part l'agrégation des postes U05A, U05B, U05C avec affectation des montants correspondants (tirés du TES au niveau 15) à un bien "machines" et à une activité "prod. machines" (mis par exemple respectivement en no 7 et en no 5), d'autre part le redécoupage des services conformément aux fiches descriptives (TABLEAUX 1.2 et 1.3, § 2), la détermination par agrégation des montants correspondant réclamant l'utilisation des TES aux niveaux 40 et 100 en plus de celui au niveau 15. Tous les montants sont mesurés en GF73, en conformité (au facteur 1000 près) avec ceux du TES.

Pour chaque activité (après le redécoupage précédent), le montant de la production est le montant net pris égal au total des ressources (ligne P03) moins l'autoconsommation moins le montant des importations (ligne P60) moins la variation de stock (ligne P42) ; les productions ainsi calculées sont mises dans les case de la diagonale du tableau, avec le signe plus. Par exemple, le montant de 176.33 GF73, affecté à la ligne "equip. base" (bien no 6) et à la colonne "prod. equ. base" (activité no 4), vaut  $176.97 - 0.27 - 0.00 - 0.37$ .

Les consommations intermédiaires sont affectées aux autres cases, avec le signe moins. Leur détermination soulève des difficultés diverses pour les services (biens nos 11 à 15) : d'une part les informations fournies par le TES sont incomplètes en ce qui concerne les biens nos 13, 14, 15, vu leurs relations, soit avec le produit "services non marchands" (indicatifs U14, T38, S90-S99) dont les consommations intermédiaires par les diverses branches ne sont pas ventilées dans le TES, soit avec la branche "commerce (indicatifs U08, T25-28, S57) à laquelle ne correspond pas de produit ([13], chap. 2, § 2, p. 24 ; [12], alinéas 4.132 et 4.155) ; d'autre part l'introduction des consommations d'échanges (que ne fournit pas le TES) exige de revoir les consommations des biens nos 11 et 12 ; enfin, l'analyse de la FBCF réclame aussi de revoir les consommations du bien no 12. Les estimations correspondantes font l'objet des étapes nos 2 et 3 ci-après.

Les consommations finales des ménages (colonne P30) sont affectées à l'activité "entret. pop. std."

Enfin, le TABLEAU PREL.1 comporte deux colonnes supplémentaires où figurent les montants des importations et des exportations, tirées du TES et ventilés avec le même redécoupage de la nomenclature de produits.

Etape no 2 - Estimation et mise en place dans le TABLEAU PREL.1 des consommations intermédiaires relatives, d'une part aux biens "serv. adm", "serv. steduc", "serv. distrib." (biens nos 13, 14, 15), d'autre part au bien "serv. transp." (no 11) ; construction d'un TABLEAU PREL.2 constitué, parallèlement au TABLEAU PREL.1, de la partie du bilan des consommations d'importations (TABLEAU 1.8) concernant ces services.

Pour chacun d'eux, il s'agit de répartir la consommation totale en les diverses consommations intermédiaires, consommations relatives, d'une part au fonctionnement des diverses activités, d'autre part aux échanges, la FBCF n'étant pas concernée.

Pour ce qui est des bien nos 13, 14, 15, on procède comme suit en deux étapes : d'abord répartition entre, d'une part consommation finale (i.e. consommation de l'activité no 14), d'autre part consommation totale des activités productives concernées (nos 1, 3 à 5 et 7 à 13) et des échanges ; ensuite répartition de cette dernière consommation entre les diverse activités et les divers échanges, cela au prorata de coefficients de pondération exogènes. Les pourcentages retenus sont indiqués par les TABLEAUX 1.11 et 1.12 ci-dessous, les coefficients de pondération figurant sur les lignes "coef. pond."

BIENS \ ACTIVITES	1	3	4	5	7	8	9
13 serv. adm	1.11	4.30	6.10	5.13	4.99	5.27	2.77
14 serv. steduc	0.31	2.01	2.44	2.08	3.27	1.94	1.30
15 serv. distrib.	0.44	1.71	2.43	2.05	2.00	2.10	1.88
coef. pond. 13	40.	155.	220.	185.	180.	190.	100.
coef. pond. 14	25.	162.	195.	167.	264.	156.	105.
coef. pond. 15	40.	155.	220.	185.	180.	190.	170.

  

BIENS \ ACTIVITES	10	11	12	13	Tot.1	Ech.	14
13 serv. adm	4.85		4.16	5.83	44.51	5.49	50.00
14 serv. steduc	0.97	2.60		3.08	20.00		80.00
15 serv. distrib.	1.94	1.60	1.66		17.81	2.19	80.00
coef. pond. 13	175.		150.	210.			
coef. pond. 14	78.	209.		248.			
coef. pond. 15	175.	145.	150.	210.			

TABLEAU 1.11 - Répartition des consommations de services pour fonctionnement.

BIENS \ BIENS ECH.	2	3	4	5	7	8	9
13 serv. adm			0.69	1.06	1.33		0.61
15 serv. distrib.			0.28	0.42	0.53		0.24
coef. pond. 13			25.	38.	48.		22.
coef. pond. 14			30.	19.	20.		8.

  

BIENS \ BIENS ECH.	10	11	12	13	Ech.
13 serv. adm	0.72	0.33	0.20		5.49
15 serv. distrib.	0.29	0.13	0.07	0.01	2.19
coef. pond. 13	26.	12.	7.		
coef. pond. 14	9.	12.	6.	1.	

TABLEAU 1.12 - Répartition des consommations de services pour importations.

En ce qui concerne la fraction affectée à la consommation finale (colonne 14 du TABLEAU 1.11), les valeurs retenues (50%, 80% et 80%) peuvent être rapprochées de celles (18%, 85% et 84%) fournies par le TES au niveau 40 pour les produits T36-T37, T34 et T29-T30 qui sont inclus respectivement dans les biens nos 13, 14 et 15 : on a augmenté la fraction relative à l'administration et pratiquement conservées celle relatives à la santé (T34 inclut les services de santé marchands S84) et à la distribution.

Les coefficients de pondération sont approximativement proportionnels aux productions des activités et aux montants d'importations, avec le même facteur de proportionnalité mais avec des modulations diverses : par exemple le coefficient de l'activité "prod. equip. base" a été augmenté pour le bien "serv. adm." car c'est par le bien "equip. base" que produit cette activité que va transiter la consommation de "serv. adm." par la maintenance et les constructions.

Une démarche analogue est mise en oeuvre pour modifier les consommations du bien "serv. transp." en introduisant celles dues aux échanges.

Pour chacun des services concernés, la consommation totale, qu'il s'agit de ventiler dans les TABLEAUX PREL.1 et PREL.2 selon les pourcentages indiqués par les TABLEAU 1.11 et 1.12, est égale à la somme du montant de la production et du montant des importations (montants déterminés dans l'étape no 1) diminuée du montant du prélèvement de ce service. Le seul prélèvement envisagé ici est celui du bien "serv. adm." qui représente les consommations de défense [point (i) du § 3] : le montant retenu, 42.00 GF73, est de l'ordre de 20% du budget de l'état en 1973 ([11], chap. 49, Tableau IV, p. 550).

Etape no 3 - Construction de Tableaux modifiés de FBCF et de CCF, tableaux obtenus en transcrivant les Tableaux de départ (de FBCF et de CCF), dans le nouveau cadre nominatif, via les mêmes redécoupages et agrégations que pour le TABLEAU PREL.1 : pour le Tableau de FBCF, biens croisés avec activités ; pour le tableau de CCF, activités croisés avec les rubriques "capital fixe brut" (CFB) et "déclassements" (DEC) seules utilisées dans la suite (étape no 4).

Pour ces modifications, une première difficulté importante tient à ce que les tableaux en cause sont incomplets en ce qui concerne les services et les ménages ; en particulier, les branches U12 à U14 sont absentes du Tableau de FBCF et les branches U11 à U14 du Tableau de CCF.

On a tenté de remédier à cette difficulté en utilisant, d'une part la partie du TES relatives à la FBCF (dans le TES au niveau 40, tableau des emplois finals sous les indicatifs S82, S40, S50, S60, S70), d'autre part les évaluations de patrimoine ([16], en particulier Tableau II.21.A, p. 64 ; [17]). Cela a réclamé un nombre important d'arbitrages sauvages qu'il n'est pas possible d'analyser dans la présentation schématique faite ici.

Les montants obtenus pour la FBCF apparaissent sur les TABLEAUX 1.9 et 1.10 : ce sont les sommes des consommations de maintenance et de constructions.

Les évaluations relatives au capital fixe sont indiqués (en GF73) par le TABLEAU 1.13 ci-après qui constitue le Tableau modifié de CCF annoncé.

ACTIVITES	1	3	4	5	7	8	9
CFB(btp)	110.87	78.82	19.12	53.10	97.45	45.30	128.06
CFB(mat)	95.99	174.00	54.45	86.68	137.24	70.24	143.08
DEC(btp)	1.41	1.28	0.29	0.81	1.89	0.98	2.19
DEC(mat)	5.00	6.25	2.97	2.97	5.76	2.17	5.28

\ ACTIVITES	10	11	12	13	14	Totaux
CFB(btp)	278.28	334.33	176.83	143.20	3009.97	4753.35
CFB(mat)	26.37	69.13	37.53	69.62		964.32
DEC(btp)	4.50	7.21	3.33	2.65	10.07	36.61
DEC(mat)	0.74	5.05	1.02	1.99		39.19

TABLEAU 1.13 - Capital fixe brut (CFB) et déclassements (DEC) en GF73.

Une seconde difficulté tient au bien "gestion" : d'une part ce bien est aussi consommé par les échanges, ce qui exige de revoir ses consommations pour fonctionnement (TABLEAU PREL.1) ; d'autre part du poste T33 qu'il recoupe (TABLEAU 1.2) il faut désagréger les produits de récupération (poste S56 de la nomenclature de niveau 100), lesquels se traduisent, dans le Tableau de FBCF, par des valeurs < 0 qui signifient des productions. Ces productions sont donc désagrégées et affectées dans le Tableau modifié de FBCF au bien "mat. prem. min." [point (b) du § 3] ; puis la répartition des consommation du bien "gestion" est déterminée par une démarche analogue à celle utilisée dans l'étape no 2, les montants obtenus venant compléter les TABLEAUX PREL.1 et PREL.2 relativement à ce bien.

Etape no 4 - Construction, à partir des Tableaux modifiés de FBCF et de CCF (étape no 3), de TABLEAUX PREL.3 et PREL.4 qui sont des versions préliminaires du bilan de maintenance et du bilan des constructions (TABLEAUX 1.9 et 1.10), dans le même cadre nominatif que le TABLEAU PREL.1.

Il s'agit de ventiler, pour chaque activité, les consommations de FBCF entre maintenance et construction. Le TABLEAU 1.14 ci-après donne, pour les activités j ∈ J concernées, les fractions en pourcentage,  $f_{btp}(j)$  et  $f_{mat}(j)$ , affectée à la maintenance relativement aux biens "equip. base" et "machines" ; celles affectées aux constructions sont les compléments à 100.

BIENS \ ACTIVITES	1	3	4	5	7	8	9
6 equip. base	11.22	10.00	10.00	10.00	12.44	12.62	18.13
7 machines	25.00	17.77	21.73	15.00	16.89	16.47	15.00

  

BIENS \ ACTIVITES	10	11	12	13	14
6 equip. base	12.05	12.84	11.87	15.31	10.00
7 machines	11.46	19.57	9.83	14.09	

TABLEAU 1.14 - Fractions de la FBCF affectées à la maintenance (%).

Ces fractions sont déterminées à partir des indications fournies par les Tableaux modifiés de FBCF et de CCF. Plus précisément, elles sont calculées par les formules :

$$(1.4.1) \quad f_{btp}(j) = 100 \text{Min}(0.10, D_{btp}(j)/2F_{btp}(j)) \quad \text{pour } j \in J_1 \text{ ou } j \in J_2,$$

$$(1.4.2) \quad f_{mat}(j) = 100 \text{Max}(0.25, \text{Min}(0.15, D_{mat}(j)/3F_{mat}(j))) \quad \text{pour } j \in J_1,$$

$$(1.4.3) \quad f_{mat}(j) = D_{mat}(j)/2F_{mat}(j) \quad \text{pour } j \in J_2,$$

où, d'une part  $J_1$  [resp.  $J_2$ ] désigne l'ensemble des activités productives hors services (nos 1, 3 à 5, 7 et 8) [resp. des services (nos 10 à 13)],

d'autre part, pour chaque activité j,  $D_{btp}(j)$  [resp.  $D_{mat}(j)$ ] désigne le montant des déclassements de type "btp" [resp. "mat"] fourni par le Tableau modifié de CCF, tandis que  $F_{btp}(j)$  [resp.  $F_{mat}(j)$ ] désigne la somme des montants de la FBCF fournis par le Tableau modifié de FBCF pour les biens nos 5 et 6 [resp. nos 7 et 10].

Cette démarche doit évidemment être assortie de toutes les réserves nécessaires. Même si la notion déclasserement n'est pas à confondre avec celle de gros entretien (elle même proche de celle de maintenance utilisée dans le modèle ATHEMA), déclasserement et maintenance ne sont pas sans relations : les formules (1.4.1) et (1.4.2) ci-dessus formalisent l'idée selon laquelle, sauf cas extrêmes [correspondant aux bornes mises dans (1.4.1) et (1.4.2)], la maintenance ne représente qu'une partie du déclasserement [fraction 1/2 dans (1.4.1) et (1.4.3), 1/3 dans (1.4.2)]. Les valeurs obtenues (autour de 10% pour le bâtiment et entre 15 et 20% pour le matériel ; TABLEAU 1.14) rejoignent celles couramment admises.

Les valeurs indiquées par le TABLEAU 1.14 sont aussi utilisées pour les autres biens concernés, hormis le bien "serv. gestion" : pour "biens interm." et "bio-biens", mêmes fractions que pour "equip. base" ; pour "biens cons.", mêmes fractions que pour "machines".

En ce qui concerne le bien "gestion", les fractions affectées à la maintenance sont prises voisines de 1/3 pour les activités productives et de 1/6 pour l'activité "entret. pop. std.". Par ailleurs, les productions par récupération du bien "mat. prem. min." inscrites dans le Tableau modifié de FBCF (Etape no 3) sont entièrement affectées en maintenance.

Etape no 5 - Estimations et mise en place dans les TABLEAUX PREL.3 et PREL.4 des taux de suréquipement des parcs et des taux de croissance (lignes "PARC/FONCT." et "CROISS. PARCS" des TABLEAUX 1.9 et 1.10).

Les estimations des taux de suréquipement des parcs sont faites en termes physiques. Pour l'activité "entret. pop. std." (no 14), on utilise les statistiques relatives aux nombres de logements en 1973 (total, 20321 milliers ; vacants, 1606 ; résidences secondaires, 1592 ; [14], alinéa 4.1, p. 40) : en considérant que 70% des résidences secondaires sont utilisées, on obtient la valeur retenue  $1.11 = 1/0.90$ , avec  $0.90 = 1 - ((1606 + 0.3 \times 1592) / 20321)$ . Pour les activités productives, les estimations sont faites à partir d'évaluations de marges de capacité avec embauche ([9], pp. 20 et 21), avec des modulations de nuances (par exemple une marge minorée pour l'activité "prod. energ. std." qui est assez planifiée en France).

Les estimations de taux de croissance des parcs sont faites en fonction des évaluations fournies par le Tableau modifié de CCF : pour chaque activité, le taux de croissance  $t_u$  est fourni par la relation,

$$(1.4.4) \quad t_u = [FBCF - DEC(tot)] / CFB(tot),$$

où, pour l'activité en question, d'une part FBCF est le montant donné par le TABLEAU de FBCF modifié (ou par les TABLEAUX 1.9 et 1.10 ; voir le début de l'étape no 3 ci-dessus), d'autre part  $DEC(tot) = DEC(btp) + DEC(mat)$  et  $CFB(tot) = CFB(btp) + CFB(mat)$ ,  $DEC(btp)$ ,  $DEC(mat)$ ,  $CFB(btp)$ ,  $CFB(mat)$  étant les montants figurant dans le TABLEAU 1.3.

Etape no 6 - Modification des TABLEAUX PREL.1, à PREL.4 par désagrégation du bien "machines" en les biens "machines 1" et "machines 2".

Cette désagrégation va être faite en déterminant : d'une part le montant, noté  $e$ , des importations du bien "machines 2" ; d'autre part, pour chaque activité  $j$ , un coefficient  $r_j$  au prorata duquel sont réparties les trois consommations concernées (relatives au fonctionnement, à la maintenance et aux constructions). Les coefficients  $r_j$  sont supposés ne prendre que deux valeurs : une valeur  $r$  pour toutes les activités productives (nos 1, 3 à 5 et 7 à 13) et une valeur  $\underline{r}$  pour l'activité "entret. pop. std." (no 14). Ainsi, il s'agit de déterminer  $e$ ,  $r$  et  $\underline{r}$ . Le TABLEAU 1.15 ci-après introduit la problématique formelle de la démarche.

BIENS \	prod.m	Cons.m	Cons.p	Cons.f	Fonct.	FBCF	Ech.
machines	p	-c	$\underline{c}$	$\underline{c}$	f	-g	e
machines 1	p	-c'	$\underline{c}'$	$\underline{c}'$	f'	-g'	e'
machines 2	.	-c"	$\underline{c}''$	$\underline{c}''$	-f"	-g"	-e"

TABLEAU 1.15 - Schéma de la répartition des machines.

Les colonnes indiquent, pour chacun des biens en lignes : la production brute (Prod.m) et l'auto-consommation correspondante (Cons.m), la somme des consommations de fonctionnement des activités productives (Cons.p) et celle de l'activité "entret. pop. std." (Cons.f), le total de fonctionnement (total des colonnes précédentes ; Fonct.), la somme des consommations de maintenance et de construction (FBCF), la différence entre montant des exportation et montant des importations (Ech.). On réintroduit ici la production brute et l'auto-consommation pour pouvoir tenir compte de la consommation du bien "machines 2" dans la production de bien "machines 1".

Ces quantités sont liées par les relations :

$$(1.4.5) \quad c' = rc, \quad \underline{c}' = r\underline{c}, \quad \underline{c}'' = \underline{r}\underline{c}, \quad g' = rg,$$

$$(1.4.6) \quad c'' = c - c', \quad \underline{c}'' = \underline{c} - \underline{c}', \quad \underline{c}''' = \underline{c} - \underline{c}', \quad g'' = g - g', \quad e' = e + e'',$$

$$(1.4.7) \quad p - c' - \underline{c}' - \underline{c}'' - g' = e'.$$

En portant dans l'équation (1.4.7),  $c'$ ,  $\underline{c}'$ ,  $\underline{c}''$ ,  $g'$  et  $e'$  tirées des équations (1.4.5) et de la dernière équation (1.4.6), puis en résolvant par rapport à  $r$ , on obtient,

$$(1.4.8) \quad r = (p - e - e'' - \underline{r}\underline{c}) / (c + \underline{c} + g).$$

Les quantités  $p - c$ ,  $-\underline{c}$ ,  $-\underline{c}$ ,  $-e$ ,  $g$  sont fournies par les TABLEAUX PREL.1, PREL.3 ET PREL.4 ; la relation (1.4.8) permet donc de calculer  $r$  en fonction de  $\underline{r}$ , de  $c$  et de  $e''$  ; après quoi, les relations (1.4.5) et (1.4.6) déterminent tout le TABLEAU 1.15.

Le coefficient  $\underline{r}$  est pris égal à 0.98, ce qui signifie que la consommation finale est considérée comme peu concernée par le bien "machines 2". Les montants  $c$  et  $e''$  de l'auto-consommation et des importations de ce bien sont pris égaux respectivement à 10 GF73 et 17.39 GF73, soit environ la moitié des montants correspondants fournis par le TES pour la branche U05A (21.20 GF73 et

33.28 GF73). On obtient ainsi le TABLEAU 1.16 qui concrétise le TABLEAU 1.15.

BIENS \	prod.m	Cons.m	Cons.p	Cons.f	Fonct.	FBCF	Ech.
machines	194.35	-10.00	-43.82	-44.31	96.92	-86.63	9.59
machines 1	194.35	-8.83	-38.67	-43.42	103.43	-76.45	28.98
machines 2	.	-1.17	-5.15	-.89	-7.21	-10.18	-17.39

TABLEAU 1.16 - Répartition des machines.

La modification voulue des TABLEAUX PREL.1, PREL.3 et PREL.4, qui achève ce dernier, est faite alors via les relations (1.4.5) et (1.4.6) écrites activité par activité. De plus, cette désagrégation du bien "machines" réclame de modifier le TABLEAU PREL.2 par la désagrégation correspondante des consommations d'importation de ce bien, laquelle est faite au prorata des quantités importées et amène en particulier à remplir la colonne no 8 du TABLEAU 1.12.

Etape no 7 - Achèvement des TABLEAUX PREL.1 à PREL.3, hormi les traitements en unités physiques : désagrégation des matières premières ; ventilation des consommations finales entre fonctionnement et maintenance.

Les biens représentant les matières premières, biens "mat. prem. veget." et "mat. prem. min." (nos 2 et 3) vont être détachés des biens "biens. interm." et "bio-biens" (nos 5 et 9) avec lesquels ils sont agrégés dans les TABLEAUX PREL.1 à PREL.3, comme dans les tableaux de départ. Le TABLEAU 1.17 ci-après récapitule la démarche de désagrégation.

BIENS \ ACTIVITES	3	7	14	Maint.	Imp.
(A) 3 mat. prem. min.	.	.	0.95	1.99	.
5 biens interm.	146.71	-13.64	-17.40	.	49.58
9 bio-biens	-1.83	218.47	-173.19	.	29.26
(N) 2 mat. prem. veget.	-5.26	-10.36	.	.	15.62
3 mat. prem. min.	-8.20	.	0.95	1.99	5.26
5 biens interm.	157.23	-13.64	-17.40	.	39.06
9 bio-biens	-1.83	228.83	-173.19	.	18.90

TABLEAU 1.17 - Désagrégation des matières premières.

Ce tableau indique : dans la partie supérieure (A), les montants concernés des TABLEAUX PREL.1 à PREL.3 obtenus au étapes 1 à 4, i.e. avant la désagrégation des matières premières en cause ; dans la partie inférieure (N), les montants correspondants après cette désagrégation. Les colonnes présentes sont celles où interviennent les matières premières : fonctionnement pour les activités nos 3, 7, 14 ; total de maintenance (Maint.) ; importations (Imp.). Dans la partie (A), on note les productions de "mat. prem. min." représentant les récupérations (étape nos 3 et 4).

La démarche de construction de la partie (B) part de l'estimation du montant des importations de matières premières (ici non énergétiques) à partir des indications fournies par [19]. Ce montant est évalué à 20.88 GF73, soit 12.5% ([19], Tableau 2, p. 83) du total des importations de marchandises (biens nos 4 à 10) fourni par le TABLEAU PREL.1 (167.07 GF73). Cette fraction de 12.5% se répartit comme suit ([19], Tableau 3, p. 85) : d'une part un peu moins de la moitié, soit 6.2% ou 10.36 GF73, est de type alimentaire, donc à affecter au bien "mat. prem. veget." en consommation de l'activité no 7 ; d'autre part



le reste, soit 6.37 ou 10.52 GF73, est de type industriel, donc à affecter en consommation de l'activité no 3, cela pour moitié, soit 5.26 GF73, au bien "mat. prem. veget." et pour moitié au bien "mat. prem. min".

D'où le TABLEAU 1.17 en mettant ces montants en place, puis en modifiant en conséquence les importations et productions des biens nos 5 et 9 : les premières sont diminuées respectivement de  $15.62 = 5.26 + 10.36$  et de 5.26 GF73, les secondes de 10.52 (compte tenu des apports par récupérations) et 10.36 GF73.

Les quantités ainsi déterminées sont ensuite à reporter dans le TABLEAU PREL.1. De plus, cette désagrégation des matières premières réclame de modifier le TABLEAU PREL.2 via la désagrégation correspondante des consommations d'importation des biens nos 5 et 9, laquelle est faite au prorata des quantités importées et amène en particulier à remplir les colonnes nos 2 et 3 du TABLEAU 1.12. Le TABLEAU PREL.2 est alors achevé.

Pour achever les TABLEAUX PREL.1 et PREL.3, il reste, hormi les traitements en unités physiques, à y répartir les consommations finales (activité no 14) entre fonctionnement et maintenance conformément au point (e) du § 3.

#### Etape no 8 - Traitements en unités physiques du sol et du travail.

En ce qui concerne le sol [point (a) du § 3], son utilisation est comptabilisée via la consommation du bien "sol veget." et n'est le fait que de l'activité "agr. ; bio-industr." (no 7), qui agrège agriculture, sylviculture et industries correspondantes (branches U01 et U02 ; TABLEAU 1.3). De plus, ce bien est considéré comme une ressource primaire dont les apports résultent d'une dotation qui représente la disponibilité totale.

Il s'agit donc d'évaluer, d'une part la superficie totale de "sol veget." disponible, d'autre part la superficie utilisée par l'activité "agr. ; bio-industr." Pour cela, on s'appuie sur le TABLEAU 1.18 ci-après.

Type utilis.	SAU	SFU	SAFU	SAN	SFN	SAF	SNAF	Tot.
sol veget.	32.52	9.63	42.15	2.83	5.02	50.00	4.91	54.91

TABLEAU 1.18 - Utilisation du sol Français en 1973 (Millions d'hectares).

Ce tableau indique les superficies : agricoles utilisées (SAU) et non utilisées (SAN), forestières utilisées (SFU) et non utilisées (SFN), agricoles ou forestières utilisées (SAFU), agricoles ou forestières totales (SAF), ni agricoles ni forestières (SNAF), totales (Tot.). Ces superficies sont tirées de l'annuaire statistique [11] (Tableau XXVIII, p. 142), sauf en ce qui concerne la répartition entre SFU et SFN : le rapport  $SFU/(SFU+SFN) = 0.657$  est pris un peu inférieur à la valeur (0.71) du rapport entre la production de bois (33 Mm3) et la ressource correspondante (46.4 Mm3) évaluées dans [18] (alinéa VI.b, p. 179). Le rapport en question est légèrement minoré car la superficie forestière totale (SFU+SFN) = 14.65 Mha) est évaluée largement, vu la visée prospective.

En fonction du TABLEAU 1.18, la dotation de "sol veget." et la consommation de l'activité no 7 [mise en maintenance, i.e dans le TABLEAU PREL.3 ; point (a) du § 3] sont prises égales respectivement aux valeurs de SAF (50.0 Mha) et de SAFU (42.15 Mha).

En ce qui concerne le travail, les consommations (toutes mises en fonctionnement, i.e. dans le TABLEAU PREL.1) du bien "travail" (no 16) par les diverses activités sont déterminés à partir des effectifs employés par branches fournis par les comptes de la nation ([15], tome III, pp. 190-193). Cette

détermination réclame de procéder aux agrégations et redécoupages inhérents au passage des nomenclatures de l'INSEE à la nomenclature d'activités de la micro-maquette (§ 2, TABLEAU 1.3 ; étape no 1 ci-dessus).

Dans ce sens, le redécoupage des services (activités nos 10 à 13) soulève des difficultés analogues à celles déjà rencontrées (par exemple à l'étape no 1), difficultés dues ici au manque d'information pour la nomenclature au niveau 100. On a tenté de pallier ce manque en utilisant, pour le redécoupage des branches T33, T34 et T38, des informations exogènes concernant, entre autres, les effectifs du service de santé ([11], Tableau III, p. 67) et du personnel enseignant ([11], Tableau XIII, p. 86) ; mais les chiffres obtenus pour les activités nos 10 à 13 sont (comme tous ceux concernant les services !) très sujets à caution, en particulier l'effectif de l'activité "steduc" est sans doute assez surévalué, bien que cette activité inclue une importante composante socio-culturelle qui ne rentre pas dans les services de santé et d'enseignement.

La production du bien "travail" par l'activité "entret. pop. std.", qui représente l'offre de travail [point (g) du § 3], est prise égale à l'effectif de la population active résidente, effectif fourni par le bilan de la population active pour l'année 1973 ([15], tome III, pp. 188-189, ligne 6). Cet effectif inclut celui des demandeurs d'emploi (ligne 5).

Etape no 9 - Traitement en unités physiques de l'énergie.

A la différence des biens "sol" et "travail", le bien "énergie" a déjà donné lieu aux estimations en valeur tirées du TES qui figurent dans le TABLEAU PREL.1. On se propose ici de remplacer ces estimations en valeur, en GF73, par des estimations en termes physiques, exprimées en Mtep. Mais, au delà du changement d'unité, le passage des premières aux secondes constitue une tentative pour intégrer dans le cadre du régime de référence des informations tirées des bilans énergétiques ([5], [4], [2]), en les conjuguant avec celles déjà en place dans le TABLEAU PREL.1. Le TABLEAU 1.19 ci-après schématise ce passage.

\ ACTIV.	Imp.	Prod.	7	3	4	5	8	Ind.
GF73	21.62	75.38	-3.93	-13.60	-3.60	-2.77	-3.06	-23.03
%	22.29	77.71	4.05	14.02	3.71	2.86	3.15	23.74
Mtep (1)			-2.90					-59.50
%			1.92					39.32
Mtep (2)	124.75	35.95	-7.35	-42.29	-7.21	-6.70	-8.90	-65.10
%			4.57	26.32	4.49	4.17	5.54	34.66
\ ACTIV.	9	10	11	12	13	14	Ré.Te.	Tot.
GF73	-5.57	-2.45	-3.02	-5.71	-7.18	-46.11	-64.47	97.00
% (GF73)	5.74	2.53	3.11	5.89	7.40	47.54	66.47	100.00
Mtep (1)	-31.80						-57.10	151.30
%	21.02						37.74	100.00
Mtep (2)	-19.00	-1.26	-3.80	-5.28	-6.63	-52.28	-69.25	160.70
%	11.82	0.78	2.36	3.29	4.13	32.53	43.09	100.00

TABLEAU 1.19 - Bilans énergétiques en GF73 et en Mtep.

Les colonnes indiquent pour chaque ligne, relativement au bien énergie et avec l'unité figurant en tête de ligne (GF73, Mtep), le montant : des importations (Imp. ; les exportations, faibles, sont agrégées aux autres consommations), de la production (Prod.), de la consommation de l'activité no 7, des consommations des activités nos 3 à 8 et de leur somme (Ind.), de la consommation de l'activité no 9, des consommations des activités nos 10 à 14 et de leur somme (Ré.Te), enfin du total commun aux apports et aux consommations (Tot.). Chaque lignes "%" indique les pourcentages de la ligne précédente, tant pour les productions que pour les consommations.

La ligne "GF73" reproduit les montants (en GF73) figurant sur la ligne "énergie" du TABLEAU PREL.1. La ligne "Mtep (1)" reproduit les consommations d'énergies secondaires (en Mtep) fournies par le bilan énergétique simplifié 1973 ([5], TABLEAU I, colonne "TOTAL"), les colonnes "7", "Ind.", "9", "Ré.Te", correspondent (aux nuances près discutées ci-dessous) respectivement aux rubriques "AGRICULTURE", "SIDERURGIE + INDUSTRIE", "TRANSPORTS", "RESID. ET TERT." de ce bilan. La ligne "Mtep (2)" indique les quantités (en Mtep) retenues après modification de la ligne "Mtep (1)" en fonction de la ligne "GF73" ; ce sont ces quantités qui figurent sur la ligne "énergie" des TABLEAUX 1.6 et 1.9, à cela près que la consommation de l'activité no 14 (52.28 Mtep) est ventilée entre fonctionnement et maintenance [point (e) du § 3].

La ligne "Mtep (2)" est déduite des lignes "Mtep (1)" et "GF73" par la série de modifications ou d'adjonctions suivante :

(a) report de la consommation des industries agro-alimentaires, évaluée à 4.45 Mtep ([2], p. VI.4), sur l'activité no 7 ; ce report donne sa valeur définitive (7.35 Mtep) à la consommation de cette dernière ;

(b) report de la consommation des voitures automobiles, évaluée à 12.8 Mtep ([4], ANNEXE 1, pp. 2, 3), d'une part, à hauteur de 90% (11.5 Mtep), sur l'activité no 14, d'autre part, à hauteur de 10% (voitures commerciales, p. 2), pour moitié (0.65 Mtep) sur l'industrie et pour moitié sur les services ; les chiffres des colonnes "9", "Ind." et "Ré.Te" sont alors respectivement,  $19.00$ ,  $55.70 = 59.50 - 4.45 + 0.65$ ,  $69.25 = 57.10 + 11.5 + 0.65$  ;

(c) ventilation de ces deux dernières consommations entre activités au prorata des ventilations correspondantes en valeur (ligne "GF73") ;

(d) après comparaison avec les chiffres données par [2] (p. VI.4), renforcement de la consommation de l'activité no 8 (resp. 11) au détriment de celle de l'activité no 4 (resp. no 10) ; ajout à la consommation de l'activité no 3 du montant (9.40 Mtep) de la consommation de produits pétroliers utilisés comme matières premières non énergétiques ;

(e) mise en place de la production évaluée à 35.95 Mtep, soit 85% de la production primaire (42.30 Mtep ; [2], p. II.17), cette proportion, qui représente les pertes, étant un peu inférieure au quotient des consommations totales, secondaires et primaires ([5], TABLEAU I) ; ajustement du volume des importations en conséquence ; le prix du bien "énergie" [point (k) du § 3] est alors déterminé comme quotient de la valeur des importations (21.62 GF73) par leur volume (124.75 Mtep).

Les TABLEAUX PREL.1 à PREL.4 sont alors achevés et fournissent les TABLEAUX 1.7 à 1.10. Le bilan global (TABLEAU 1.6) en découle par récapitulation.

## § 5 - JEU DE DONNEES TECHNIQUES

Un jeu de données techniques relatif à la micro-maquette est défini ci-dessous à partir des matériaux précédemment mis en place : appareil nominatif (§ 2) et régime de référence (§ 3). La spécification va être faite en deux étapes : dans la première étape, les coefficients techniques relatifs aux activités "standard", celles qui sont présentes dans le régime de référence [point (b) du § 1)], sont déterminés, calculés, à partir des matrices  $\underline{CF}$ ,  $\underline{CZ}$ ,  $\underline{CP}$ ,  $\underline{CU}$  et des vecteurs  $\underline{tu}$ ,  $\underline{tc}$  qui constituent ce dernier ; dans la seconde étape, les coefficients techniques des activités "nouvelles" sont déterminés par comparaison avec ceux des activités "standard".

La première étape commence par la spécification des niveaux de fonctionnement des activités standard, niveaux qui sont omis dans la description extensive du régime de référence faite au § 3. Ces niveaux sont arbitraires : spécifier le niveau  $X_f(j)$  équivaut à spécifier le module de l'activités  $j$ . Ils sont tous pris égaux à 10 : désignant par  $J_{st}$  l'ensemble des activités "standard" (nos 1, 3 à 5 et 7 à 14),

$$(1.5.1) \quad \text{pour } j \in J_{st}, \quad X_f(j) = 10.$$

Cela étant, à partir de ces niveaux de fonctionnement et conformément à la relation (1.3.5), on définit d'abord les niveaux des parcs et les niveaux des constructions,  $X_p(j)$  et  $X_u(h_j)$  ( $j \in J_{st}$ ), en fonction des taux de suréquipement et de croissance,  $tp(j)$  et  $tu(j)$  ( $j \in J_{st}$ ), que fournissent les TABLEAUX 1.9 et 1.10 :

$$(1.5.2) \quad \text{pour } j \in J_{st}, \quad X_p(j) = tp(j)X_f(j) \quad \text{et} \quad X_u(h_j) = tu(j)X_p(j).$$

A partir des niveaux précédents ainsi que des niveaux des importations que fournit le TABLEAU 1.6 et conformément aux relations (1.3.1) à (1.3.4), on définit ensuite les coefficients techniques de types  $\underline{Cf}$ ,  $\underline{Cz}$ ,  $\underline{Cp}$ ,  $\underline{Cu}$  respectivement en fonction des matrices  $\underline{CF}$ ,  $\underline{CZ}$ ,  $\underline{CP}$ ,  $\underline{CU}$  que fournissent les TABLEAUX 1.7 à 1.10 :

$$(1.5.3) \quad \text{pour } i \in I \text{ et } j \in J_{st}, \quad \underline{Cf}(i,j) = \underline{CF}(i,j)/X_f(j) \quad ;$$

$$(1.5.4) \quad \text{pour } i \in I \text{ et } i' \in I_{imp}, \quad \underline{Cz}(i,i') = \underline{CZ}(i,e_{i'})/X_z(e_{i'}) \quad ;$$

$$(1.5.5) \quad \text{pour } i \in I \text{ et } j \in J_{st}, \quad \underline{Cp}(i,j) = \underline{CP}(i,j)/X_p(j) \quad ;$$

$$(1.5.6) \quad \text{pour } i \in I \text{ et } j \in J_{st}, \quad \underline{Cu}(i,j) = \underline{CU}(i,h_j)/X_u(h_j).$$

Par exemple, pour le bien "biens interm." (no 5) et l'activité "industr. b. cons." (no 8), on obtient : d'abord  $\underline{Cf} = -2.223$  d'après la relation (1.5.1) et la relation (1.5.3) avec  $\underline{CF} = -22.23$  (TABLEAU 1.7) ; puis  $X_p = 11.5$  et  $X_u = 0.48990$  d'après la relation (1.5.1) et la relation (1.5.2) avec  $tp = 1.15$  et  $tu = 0.0426$  (TABLEAUX 1.9 et 1.10) ; enfin, en portant ces valeurs dans les relations (1.5.5) et (1.5.6) avec  $\underline{CP} = -0.23$  et  $\underline{CU} = -1.63$  (TABLEAUX 1.8 et 1.9),  $\underline{Cp} = -0.02$  et  $\underline{Cu} = -3.32721$ . Ou encore, pour la consommation du bien "serv. transp." (no 11) par l'importation du bien "énergie" (no 4) :  $\underline{Cz} = -0.009539$ , avec  $\underline{CZ} = -1.19$  (TABLEAU 1.8) et  $X_z = 124.75$  (TABLEAU 1.6).

La seconde étape consiste à déterminer les coefficients techniques des activités nouvelles ("prod. energ. nouv.", "prod. machines 2", "entret. pop. nouv."), ainsi que ceux de la transformation  $h_{\#}$ . Pour cela, on va procéder par modifications raisonnées des coefficients précédemment déterminés pour les activités standard concernées ("prod. energ. std.", "prod. machines 1", "entret. pop.std.").

Dans ce sens, on commence par choisir les modules des activités nouvelles pour qu'ils soient de "tailles" analogues à ceux des activités standard correspondantes : au niveau très agrégé où se situe la micro-maquette, ces analogies de tailles des modules sont traduites par des productions analogues.

On examine successivement ci-après les diverses modifications effectuées.

En ce qui concerne les machines nouvelles, la production du module de l'activité "prod. machines 2" en le bien "machines 2" est prise égale à celle du module de l'activité "prod. machines 1" en le bien "machines 1", soit 18.552 GF73.

Pour ce qui est des coefficients techniques de fonctionnement, le premier problème est de déterminer la consommation du bien "machines 1" par le module de l'activité "prod. machines 2". Se référant pour cela à la démarche de désagrégation du bien "machines" en les biens "machines 1" et "machines 2" (§ 4, étape no 6), on rapproche cette consommation de l'autoconsommation du bien de départ "machines" : on est ainsi conduit à prendre comme valeur -0.883, soit le quotient par 10 [niveau de fonctionnement, relation (1.5.1)] de la consommation du bien "machines 1" indiqué dans la colonne "Cons.m" (i.e. autoconsommation) du TABLEAU 1.16.

Sauf la consommation d'énergie qui est prise nettement plus faible que pour l'activité "prod. machines 1" (0.277 Mtep contre 0.67), les autres coefficients de fonctionnement sont voisins, avec des modulations diverses : par exemple, la consommation de travail est plus élevée mais celle de "serv. adm." plus faible. Ces modulations expriment grossièrement que les produits agrégés en le bien "machines 2" sont plus élaborés, plus fins, que ceux agrégés en le bien "machines 1" ; elles tiennent compte également (en particulier en ce qui concerne l'énergie) de la comparaison des caractéristiques de la branche U05A (dans le TES) et de l'activité "machines" (dans le TABLEAU PREL.1, § 4).

Pour ce qui est des coefficients de maintenance et de construction, il faut aussi distinguer ceux relatifs aux biens "machines 1" et "machines 2". Les coefficients relatifs au bien "machines 2" sont pris très supérieures (plus de cinq fois) à ceux de l'activité "prod. machines 1", tandis que ceux relatifs au bien "machines 1" sont un peu inférieurs. Par ailleurs, les coefficients relatifs aux biens "biens cons." et "gestion" sont multipliés par deux pour exprimer le caractère plus élaboré déjà mentionné, en particulier en vertu de ce que le bien "gestion" inclut les études (TABLEAU 1.2).

En ce qui concerne l'énergie, la production du module de l'activité "prod. energ. nouv." en le bien "energie" est prise égale à celle du module de l'activité "prod. energ. std.", soit 3.595 Mtep.

En ce qui concerne l'habitat nouveau, i.e. l'activité "entret. pop. nouv.", il est sans doute plus significatif de définir le module par sa consommation spécifique, celle du bien "bio-biens", qui est prise égale à celle du module de l'activité "entret. pop. std.", soit -12.989 GF73 ; au demeurant, la production du module en le bien "travail" est aussi prise égale à celle de l'activité standard.

Cela étant, le TABLEAU 1.20 ci-après indique les facteurs multiplicatifs à appliquer aux coefficients des activités standard "prod. energ. std." et "entret. pop. std." pour déterminer ceux des activités nouvelles correspondantes ainsi que (à partir de la seconde) ceux de la transformation  $h_{\#}$ , les cases blanches correspondant au facteur unité.

BIENS \ COEFF.	prod. energ. nouv.			entret. pop. nouv.			h <sub>#</sub>
	Cf	Cp	Cu	Cf	Cp	Cu	Cu
1 sol veget.		sss					
2 mat. prem. veget.							
3 mat. prem. min.		1.2					
4 energie				0.6	0.6		
5 biens interm.	1.1	1.2	2.0				
6 equip. base	1.2		2.0	1.2	1.3	1.2	0.2
7 machines 1	1.1	1.1	2.0	1.1	1.1	mmm	
8 machines 2	1.1		2.0	1.2	1.2	mmm	
9 bio-biens							
10 biens cons.	1.1	1.1	1.5				
11 serv. transp.	1.5			1.1	1.1		
12 serv. gestion	1.1	1.2	1.5	1.1	1.1	1.1	0.1
13 serv. adm.	1.1			0.9	0.9		
14 serv. steduc				1.1	1.1		
15 serv. distrib.	1.5			1.1	1.1		
16 travail	2.0						

TABLEAU 1.20 - Facteurs "nouv. "/"std." pour énergie et habitat.

La case marquée "sss" correspond au coefficient d'utilisation du sol par l'activité "prod. energ. nouv.". Ce coefficient, mis en maintenance comme le coefficient correspondant de l'activité "prod. bio-biens" [point (a) du § 3], a une importance spéciale en vue de l'exploitation de la micro-maquette pour des études à long terme de développement des techniques représentées par l'activité "prod. energ. nouv." [points (f) et (g) du § 1], i.e des techniques de conversion des énergies renouvelables, essentiellement de l'énergie solaire sous toutes ses formes.

La valeur retenue pour ce coefficient, 0.3595 Mha pour une production du module de 3.595 Mtep, correspond à une productivité de 10 Tep par hectare.an. Ce chiffre est une valeur moyenne qui, bien que située à la limite supérieure des possibilités de conversion via le processus photo-synthétique, correspond à la conjugaison des diverses techniques envisageables : techniques indirectes passant par la biomasse ou le vent, techniques directes calorifiques ou photovoltaïques. Il est cohérent avec les évaluations faites dans le PROJET ALTER ([10]) ; en particulier, il est nettement inférieur à la productivité moyenne que fait apparaître le régime "tout solaire" qui y est présenté : 141.50 Mtep d'énergie distribuée pour une superficie utilisée de 8.34 Mha, soit 16.97 Tep par hectare.an ([10], TABLEAU V.I, p. 44).

On note aussi à ce sujet que l'activité "prod. energ. nouv." consomme le bien "sol veget." et non les biens "mat. prem.veget." ou "bio-biens". Cela signifie que cette activité inclut les techniques, en particulier agricoles et forestières, d'utilisation du sol pour la conversion de l'énergie solaire ; de ce fait, elle n'interfère (directement) avec l'activité "prod. bio-biens" qu'à travers la compétition pour l'usage du sol.

Sans chercher à justifier le TABLEAU 1.20, lequel est plus illustratif, destiné à permettre l'illustration du modèle dans un contexte significatif [point (a) du § 1], que représentatif d'une prospective technologique, on en souligne quelques caractéristiques marquantes dans les points (a) à (d) ci-après.

(a) La production envisagée des énergies renouvelables réclame, en fonctionnement, des consommations élevées de services (biens nos 11 et 15) et

de travail, en particulier en raison de la dispersion et de la petite taille des installations ([10], alinéas I.2.d, I.3.c et chap. III) ; les consommations de construction de ces dernières sont beaucoup plus élevées que celles des techniques standard, plus concentrées.

(b) L'habitat nouveau diffère de l'habitat standard essentiellement par les économies d'énergie qu'il suppose, la contrepartie de ces économies étant un accroissement des équipements nécessaires, donc des consommations de maintenance et de construction correspondantes. Par ailleurs, les cases marquées "mmm" correspondent à des consommations supplémentaires de construction en les biens "machines 1" et "machines 2" : ces consommations sont obtenues en appliquant le facteur 0.2 à celles, indirectes, des mêmes biens par l'activité "prod. equip. base" au niveau ( $14.683 = 258.9/17.633$ ) requis pour assumer la consommation de construction en le bien "equip. base" du module de l'activité "entret. pop. std."

(c) Les consommations du module de l'activité "entret. pop. nouv." sont ventilées entre fonctionnement (part du strict entretien) et maintenance (part modulable) comme celles du module de l'activité "entret. pop. std." [point (e) du § 3], les fractions mises en maintenance étant les mêmes [point (f) du § 3], sauf pour le bien "equip. base" dont la consommation de maintenance est plus strictement lié à l'entretien des bâtiments.

(d) L'interprétation des coefficients techniques relatifs aux deux activités  $j_p$  d'entretien de la population reflète la ventilation de ces coefficients entre fonctionnement et maintenance ; elle est à conjuguer avec celle des variables  $X_f(j_p)$  et  $X_p(j_p)$  : le niveau de la population (le nombre de têtes) est proportionnel au niveau de la variable  $X_f(j_p)$ , tandis que le niveau de la variable  $X_p(j_p)$  représente, en plus des équipements disponibles, les consommations finales modulables. Cette convention est à rapprocher de ce que l'offre de travail est mise en fonctionnement [point (g) du § 3] ; elle entraîne que le rapport  $X_p(j_p)/X_f(j_p)$  fournit, comme voulu [point (e) du § 3], une mesure du niveau de vie. Cette mesure, qui est plutôt un mode de repérage, est évidemment très dépendante de la ventilation retenue [i.e. du standard de besoins fondamentaux ; point (f) du § 3] : elle n'est utilisable que de façon différentielle, comme moyen de comparaison, et son principe ne peut sans doute convenir que dans un cadre très agrégé comme celui de la micro-maquette.

A ce stade, il reste à spécifier les coefficients technique de démantèlement et les taux de disponibilité des divers parcs.

Les consommations de démantèlement sont illustratives et ne concernent que les biens "serv. transp." et "serv. gestion". La consommations du bien "serv. transp." pour le démantèlement du module du parc  $j$  est prise égale à 50% de la consommation indirecte de ce bien par l'activité "prod. equip. base" au niveau requis pour assumer la consommation de construction en le bien "equip. base" du module du parc  $j$ . Plus simplement, la consommation du bien "serv. gestion" pour le démantèlement du module d'un parc est évaluée à 25% de celle de ce bien pour la construction du même module.

Enfin, en ce qui concerne les taux de disponibilité des divers parcs ([7], alinéa 4.b) : d'une part les coefficients de type  $M_p$  sont tous pris égaux à 1 ; d'autre part les coefficients de types  $M_1$  et  $M_2$  relatifs aux constructions et aux démantèlements sont tous pris égaux à zéro, tandis que  $M_1(h_{\#})$  et  $M_2(h_{\#})$  sont pris égaux à 0.5.

Les coefficients ainsi déterminés figurent dans les tableaux des ANNEXES 1 à 3. Ils constituent le jeu de données techniques annoncé. Ce jeu sera appelé jeu de référence dans les exposés suivants relatifs à la micro-maquette.

On souligne le caractère "pseudo-physique" de ce jeu [point (c) du § 1] : d'une part il est complètement intégré dans le cadre de la représentation du système productif en termes techniques qui est celui du modèle ATHEMA ([7], alinéas 1.b, 2.a, 4.b) et permet donc les interprétations physiques inhérentes à ce cadre ; d'autre part la plupart des coefficients techniques ont été obtenus à partir des données économétriques de la comptabilité nationale (dont le cadre, comptable, est notablement différent) et cela sans appel à la démarche d'agrégation primaire en termes physiques qui est un élément essentiel de la méthodologie du modèle ATHEMA ([7], alinéa 8.c). Cette dualité pose évidemment beaucoup de problème, tant d'interprétation que de fiabilité des données.

Pour la tentative "micro-maquette", on a ignoré ces problèmes, et plus généralement ceux que pose l'agrégation primaire en termes physiques, l'objectif étant d'illustrer, à propos d'un ensemble humain macroéconomiquement significatif [§ 1, en particulier points (a)], le maniement du modèle ATHEMA plutôt que la méthode de recueil des données. Dans ces conditions, il fallait construire "coute que coute" un jeu de données techniques avec les moyens disponibles, ce qui a conduit à en limiter les dimensions et à tenter d'utiliser les données de la comptabilité nationale (introduction du § 4). Au demeurant, cette démarche de construction est intéressante en elle même (introduction du § 4), pourvu qu'elle n'empêche pas le développement parallèle de la démarche d'agrégation primaire en termes physiques à l'échelle de grands ensembles économiques, pour prolonger son application à l'échelle d'ensembles de type local ([7], alinéa 8.b, [6], [8]).

## § 6 - REGIME DE REFERENCE ET REALISATION PRIMAIRE

On explicite ci-dessous l'articulation entre, d'une part les éléments précédemment introduits (régime et jeu de données techniques de référence ; § 3 et § 5), d'autre part les concepts de réalisation (en particulier réalisation de base), d'extension d'une réalisation, de régime compatible avec une réalisation, de détermination, qui sont sous-jacent à l'exploitation du modèle ([7], alinéas 7.b à 7.d, § 9).

Une réalisation de base est constituée d'un descriptif fondamental, d'un jeu de données techniques, d'un descriptif circonstanciel et d'un jeu de données circonstanciels ([7], alinéas 7.a et 7.b.).

Dans ce sens, on considère la réalisation de base, dite primaire et notée Resp, définie comme suit : d'une part le descriptif fondamental et le jeu de données techniques sont ceux introduits respectivement au § 2 et au § 5 ; d'autre part le jeu de données circonstanciels est constitué des dotations  $\underline{A}(i)$  ( $i \in I$ ) et des prélèvements  $\underline{A}''(i)$  ( $i \in I$ ) du régime de référence [TABLEAU 1.6 ; points (a) et (i) du § 3] ainsi que des prix qui sont exogènes avec leurs valeurs de référence sauf celui du bien "énergie" [point (k) du § 3], le descriptif circonstanciel indiquant seulement ces choix.

Cette réalisation Resp est très sous-déterminée : son extension sera analysée dans l'Exposé no 2 en étudiant diverses réalisations dérivées ([7], alinéa 7.c). On s'intéresse seulement ici à son lien avec le régime de référence : ce régime est compatible avec elle, i.e. appartient à son extension qui n'est donc pas vide ([7], alinéas 7.b et 7.c).

Cette assertion peut être considérée comme évidente, vu la démarche de construction du jeu de données technique de Resp (première étape du § 5). On en explicite ci-après l'élément essentiel que constitue le passage de la description extensive du régime de référence faite au § 3 à sa description canonique comme multiplet de valeurs des variables de base ([7], alinéa 7.b), ces deux être mathématiques étant formellement distincts même s'ils sont tous deux



appelés "régime de référence".

La définition canonique du régime de référence réclame donc de spécifier les valeurs des diverses variables de base, variables de types Xf, Xp, Xu, Xz, Pr, Po, Db, Rb, Dp, Dm, Rp, Rm, Wp, Wm ([7], alinéa 7.a). On le fait dans les points (a) à (d) ci-dessous.

(a) En ce qui concerne les variables de types Xf, Xp, Xu, les relations (1.5.1) et (1.5.2) fournissent les niveaux de celles de ces variables qui ne sont pas nulles : essentiellement celles concernant les activités standard. Les autres sont nulles : niveaux des parcs et des constructions correspondant aux activités nouvelles (nos 2. 6, 15) ; niveaux des transformations autres que les constructions (démantèlements et transformation  $h_{\#}$  ; § 2).

(b) Les niveaux des échanges, i.e. les valeurs des variables de type Xz, sont fournies par les colonnes "imp" et "exp" du TABLEAU 1.6 ; le prix du bien "énergie", variable de type Pr, est celui spécifié au point (k) du § 3 ; les cours d'opération, i.e. les valeurs des variables de type Po, sont pris égaux à l'unité de façon standard.

(c) Toutes les variables monétaires et financières, i.e. les variables de types Db, Rb, ..., Wm, sont à zéro, sauf deux d'entre elles : la variable de type Dp qui représente le montant des prêts du secteur intérieur et la variable de type Rm complémentaire pour le secteur extérieur, i.e. formellement les variables  $Dp(f')$  et  $Rm(f'')$  où  $f'$  et  $f''$  désignent respectivement les éléments (prêts,  $s_n$ ) et (prêts,  $s_x$ ) des nomenclatures Fp et Fm (ligne "prêts" du TABLEAU 1.5, § 2). Afin de satisfaire aux contraintes de types qs et qo correspondantes ([7], alinéa 5.c), ces deux montants sont pris égaux au solde des échanges extérieurs fourni par le TABLEAU 1.6, soit 0.54 GF73 (0.54 = 186.04 - 185.50 ; colonnes "export." et "import", ligne "Tot.").

(d) On note le caractère contingent de l'imputation ci-dessus pour ce solde : il pourrait par exemple aussi être affecté à une variable de type Dm représentant un remboursement d'emprunt par le secteur intérieur et à la variable de type Rp complémentaire pour le secteur extérieur (ligne "emprunts" du TABLEAU 1.5, § 2), ce qui réclamerait que les variables d'encours correspondantes, de types Wm et Wp respectivement, soient au moins à ce niveau de 0.54 GF73, afin que les contraintes de types km et kp soient satisfaites. Il va de soi que ces considérations sont purment illustratives du maniement de l'appareil formel du modèle et non représentatives des opérations financières de l'année 1973.

Cela étant, que le régime de référence, ainsi défini sous forme canonique, soit compatible avec la réalisation Resp résulte de la démarche de construction du jeu de données techniques (première étape du § 5) et des définitions précédentes, compte tenu, en particulier et essentiellement, de ce que l'équilibre des bilans présentés par les TABLEAUX 1.6 à 1.10 entraîne que les contraintes de conservation des biens (contraintes de type xb ; [7], alinéa 5.a) sont vérifiées.

Le régime de référence, ainsi mis sous forme canonique, est récapitulé par le tableau correspondant à la détermination 1.1, les valeurs figurant dans ce tableau étant celles spécifiées ci-dessus sans qu'il y ait pour commencer de détermination au sens formel de ce terme.

Toutefois, à titre de vérification numérique, pratique et pas seulement formelle comme ci-dessus, de la compatibilité du régime de référence avec la réalisation Resp (i.e. essentiellement de l'exactitude des opérations de la première étape du § 5), on a procédé à une détermination qui peut être

considérée comme une vérification de calage du régime de référence.

On considère dans ce sens la réalisation  $R_{esf}$ , dérivée de  $R_{esp}$ , qui est obtenue en fixant à leurs valeurs de référence : les variables de types  $X_f$ ,  $X_p$ ,  $X_u$ , les niveaux des importations, le prix du bien "énergie", enfin les variables monétaires et financières sauf les variables  $D_p(f')$  et  $R_m(f')$  déjà considérée ci-dessus. La détermination de calage est alors relative à cette réalisation  $R_{esf}$  et à la spécification de critère "max  $D_p(f')$ " qui, dans le contexte de  $R_{esf}$ , équivaut à maximiser le solde des échanges extérieurs et est désignée par "marge/max".

Cette détermination 1.1 fournit effectivement, comme régime optimum, le régime de référence. Cela aux erreurs d'arrondi près qui réclament en fait quelques ajustements mineurs de coefficients techniques et un affaiblissement des contraintes circonstanciées définissant la réalisation  $R_{esf}$ , afin d'éviter de mettre en défaut de façon parasite les contraintes de conservation des biens. Par exemple, on peut dans ce sens mettre seulement des bornes inférieures aux niveaux des importations et aux variables de type  $X_f$  relatives aux activités produisant un bien non importé (nos 4, 12 et 13).

ANNEXE 1 - Coefficients techniques des activités nos 1 et 2.

Pour chaque activité j et chaque bien i de la nomenclature rappelée dans la colonne de gauche, les colonnes "fonct.", "maint.", "constr." et "demant." fournissent respectivement les coefficients : de fonctionnement  $C_f(i,j)$ , de maintenance  $C_p(i,j)$ , de construction  $C_u(i,h_j)$  et de démantèlement  $C_d(i,h_j)$ . Les lignes omises correspondent à des coefficients nuls. La ligne "(Mp M1 M2)" fournit les taux de disponibilité respectivement de types Mp (colonne "maint.") et M1 M2 (colonnes "constr." et "demant.").

En principe, les valeurs indiquées résultent de la démarche d'évaluation décrite au § 5. Toutefois, des disparités peuvent exister à cause, soit des erreurs d'arrondi, soit des ajustements mineurs réclamés par le calage pour compenser ces dernières (fin du § 6), soit .... d'erreurs tout court : ce sont toujours les valeurs figurant ci-dessous qui sont utilisées pour les diverses déterminations effectuées dans la suite.

act. 1 : prod. energ. std. (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.009346	.	.
4 energie	3.595	.	.	.
5 biens interm.	-.124	-.014953	-4.727024	.
6 equip. base	-.193	-.050467	-15.444016	.
7 machines 1	-.103	-.11028	-12.773789	.
8 machines 2	-.014	-.014953	-1.695955	.
9 bio-biens	-.008	.	.	.
10 biens cons.	-.074	-.000935	-.108252	.
11 serv. transp.	-.279	.	.	-.213
12 serv. gestion	-.176	-.004673	-.793851	-.199
13 serv. adm.	-.113	.	.	.
14 serv. steduc	-.046	.	.	.
15 serv. distrib.	-.097	.	.	.
16 travail	-.292	.	.	.

act. 2 : prod. energ. nouv. (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
1 sol veget.	. ?	-.3595	.	.
3 mat. prem. min.	.	.0112	.	.
4 energie	3.595	.	.	.
5 biens interm.	-.136	-.0179	-9.45	.
6 equip. base	-.232	-.050467	-30.89	.
7 machines 1	-.113	-.1213	-25.55	.
8 machines 2	-.015	-.014953	-3.39	.
9 bio-biens	-.008	.	.	.
10 biens cons.	-.081	-.001	-.162	.
11 serv. transp.	-.419	.	.	-.213
12 serv. gestion	-.194	-.0056	-1.19	-.199
13 serv. adm.	-.124	.	.	.
14 serv. steduc	-.046	.	.	.
15 serv. distrib.	-.146	.	.	.
16 travail	-.584	.	.	.

ANNEXE 1 - Coefficients techniques des activités nos 3 à 5.

act. 3 : prod. b. interm. (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
2 mat. prem. veget.	-.526	.	.	.
3 mat. prem. min.	-.82	.034822	.	.
4 energie	-4.229	.	.	.
5 biens interm.	15.723	-.035714	-6.781915	.
6 equip. base	-.081	-.039286	-7.541793	.
7 machines 1	-.289	-.160715	-15.824468	.
8 machines 2	-.039	-.021429	-2.108663	.
9 bio-biens	-.183	.	.	.
10 biens cons.	-.3	-.003571	-.379939	.
11 serv. transp.	-.61	.	.	-.104
12 serv. gestion	-.799	-.007143	-.721884	-.181
13 serv. adm.	-.437	.	.	.
14 serv. steduc	-.299	.	.	.
15 serv. distrib.	-.376	.	.	.
16 travail	-1.638	.	.	.

act. 4 : prod. equip. base (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.004545	.	.
4 energie	-.721	.	.	.
5 biens interm.	-3.06	-.002727	-.604671	.
6 equip. base	17.633	-.010909	-2.33528	.
7 machines 1	-.695	-.078182	-6.46372	.
8 machines 2	-.092	-.01	-.854879	.
10 biens cons.	-1.177	-.001818	-.125104	.
11 serv. transp.	-.486	.	.	-.032
12 serv. gestion	-1.569	-.018182	-2.06422	-.515
13 serv. adm.	-.619	.	.	.
14 serv. steduc	-.363	.	.	.
15 serv. distrib.	-.534	.	.	.
16 travail	-1.987	.	.	.

act. 5 : prod. machines 1 (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.012174	.	.
4 energie	-.67	.	.	.
5 biens interm.	-4.277	-.014783	-2.016764	.
6 equip. base	-.098	-.026087	-3.535885	.
7 machines 1	18.552	-.096522	-8.263494	.
8 machines 2	-.117	-.013044	-1.100053	.
10 biens cons.	-.348	-.001739	-.130959	.
11 serv. transp.	-.32	.	.	-.049
12 serv. gestion	-.783	-.007826	-.628602	-.157
13 serv. adm.	-.521	.	.	.
14 serv. steduc	-.309	.	.	.
15 serv. distrib.	-.451	.	.	.
16 travail	-1.821	.	.	.

ANNEXE 1 - Coefficients techniques des activités nos 6 à 8.

act. 6 : prod. machines 2 (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.006	.	.
4 energie	-.277	.	.	.
5 biens interm.	-4.183	-.014783	-2.016764	.
6 equip. base	-.105	-.026087	-3.535885	.
7 machines 1	-.883	-.082	-6.	.
8 machines 2	18.552	-.068	-5.	.
10 biens cons.	-.31	-.0034	-.26	.
11 serv. transp.	-.425	.	.	-.049
12 serv. gestion	-.8	-.0156	-1.2	-.15
13 serv. adm.	-.366	.	.	.
14 serv. steduc	-.194	.	.	.
15 serv. distrib.	-.317	.	.	.
16 travail	-2.177	.	.	.

act. 7 : agr. ; bio-industr. (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
1 sol veget.	.	(-3.69737)	.	.
2 mat. prem. veget.	-1.036	.	.	.
3 mat. prem. min.	.	.009649	.	.
4 energie	-.735	.	.	.
5 biens interm.	-1.364	-.014912	-2.101062	.
6 equip. base	-.121	-.042982	-6.09308	.
7 machines 1	-.238	-.147368	-14.409784	.
8 machines 2	-.032	-.019298	-1.925974	.
9 bio-biens	22.883	-.03421	-3.274155	.
10 biens cons.	-.439	-.001754	-.210106	.
11 serv. transp.	-.191	.	.	-.084
12 serv. gestion	-.384	-.020175	-1.9785	-.495
13 serv. adm.	-.507	.	.	.
14 serv. steduc	-.486	.	.	.
15 serv. distrib.	-.44	.	.	.
16 travail	-3.109	.	.	.

act. 8 : industr. b. cons. (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.011304	.	.
4 energie	-.89	.	.	.
5 biens interm.	-2.223	-.02	-3.32721	.
6 equip. base	-.04	-.021739	-3.612982	.
7 machines 1	-.132	-.053913	-6.368647	.
8 machines 2	-.018	-.006957	-.836906	.
9 bio-biens	-1.107	.	.	.
10 biens cons.	19.395	-.002609	-.26536	.
11 serv. transp.	-.524	.	.	-.05
12 serv. gestion	-.877	-.007826	-.898143	-.225
13 serv. adm.	-.535	.	.	.
14 serv. steduc	-.288	.	.	.
15 serv. distrib.	-.462	.	.	.
16 travail	-1.698	.	.	.

ANNEXE 1 - Coefficients techniques des activités nos 9 à 11.

act. 9 : transports (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.059633	.	.
4 energie	-1.9	.	.	.
5 biens interm.	-.136	-.014679	-1.546232	.
6 equip. base	-.155	-.085321	-8.700133	.
7 machines 1	-.409	-.178899	-22.719306	.
8 machines 2	-.054	-.023853	-3.030615	.
10 biens cons.	-.082	.	-.061849	.
11 serv. transp.	8.286	.	.	-.12
12 serv. gestion	-.323	-.004587	-.494794	-.124
13 serv. adm.	-.281	.	.	.
14 serv. steduc	-.193	.	.	.
15 serv. distrib.	-.413	.	.	.
16 travail	-1.237	.	.	.

act. 10 : gestion (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.001905	.	.
4 energie	-.126	.	.	.
5 biens interm.	-.192	-.001905	-.229095	.
6 equip. base	-.029	-.212381	-26.62413	.
7 machines 1	-.147	-.028571	-3.829162	.
8 machines 2	-.02	-.00381	-.523646	.
10 biens cons.	-.552	-.002857	-.360007	.
11 serv. transp.	-.367	.	.	-.366
12 serv. gestion	17.959	-.014286	-1.260023	-.315
13 serv. adm.	-.492	.	.	.
14 serv. steduc	-.144	.	.	.
15 serv. distrib.	-.427	.	.	.
16 travail	-1.109	.	.	.

act. 11 : administration (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.030476	.	.
4 energie	-.38	.	.	.
5 biens interm.	-.206	-.006667	-.639659	.
6 equip. base	-.457	-.337143	-34.143589	.
7 machines 1	-.861	-.200952	-12.295672	.
8 machines 2	-.114	-.026667	-1.634685	.
9 bio-biens	-.161	.	.	.
10 biens cons.	-.336	-.013333	-.79602	.
11 serv. transp.	-.477	.	.	-.47
12 serv. gestion	-1.656	-.02	-1.520968	-.38
13 serv. adm.	14.344	.	.	.
14 serv. steduc	-.387	.	.	.
15 serv. distrib.	-.352	.	.	.
16 travail	-2.962	.	.	.

ANNEXE 1 - Coefficients techniques des activités nos 12 à 14.

act. 12 : steduc (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.002913	.	.
4 energie	-.528	.	.	.
5 biens interm.	-.205	-.003883	-.414049	.
6 equip. base	-.206	-.158252	-17.247292	.
7 machines 1	-.139	-.039806	-5.396918	.
8 machines 2	-.018	-.005825	-.713878	.
9 bio-biens	-.443	.	.	.
10 biens cons.	-.964	-.003883	-.542547	.
11 serv. transp.	-.273	.	.	-.237
12 serv. gestion	-.515	-.005825	-.442604	-.111
13 serv. adm.	-.422	.	.	.
14 serv. steduc	14.867	.	.	.
15 serv. distrib.	-.365	.	.	.
16 travail	-2.135	.	.	.

act. 13 : distribution (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.	.004808	.	.
4 energie	-.663	.	.	.
5 biens interm.	-.563	-.003846	-.323453	.
6 equip. base	-.126	-.125	-10.571047	.
7 machines 1	-.854	-.081731	-7.586454	.
8 machines 2	-.114	-.010577	-1.014468	.
9 bio-biens	-2.148	.	.	.
10 biens cons.	-.275	-.002885	-.308751	.
11 serv. transp.	-1.683	.	.	-.145
12 serv. gestion	-.63	-.022115	-1.720184	-.43
13 serv. adm.	-.592	.	.	.
14 serv. steduc	-.458	.	.	.
15 serv. distrib.	21.994	.	.	.
16 travail	-3.507	.	.	.

act. 14 : entret. pop. std. (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.076	.017117	.	.
4 energie	-4.182	-.942342	.	.
5 biens interm.	-1.044	-.627027	.	.
6 equip. base	-.741	-.549549	-258.902902	.
7 machines 1	-1.737	-2.346846	.	.
8 machines 2	-.035	-.048648	.	.
9 bio-biens	-12.989	-3.9009	.	.
10 biens cons.	-8.408	-5.05045	.	.
11 serv. transp.	-1.067	-.641441	.	-3.568
12 serv. gestion	-6.058	-1.364864	-25.612001	-6.403
13 serv. adm.	-4.569	-.457657	.	.
14 serv. steduc	-9.515	-2.143243	.	.
15 serv. distrib.	-12.316	-4.755855	.	.
16 travail	22.082	.	.	.

ANNEXE 1 - Coefficients techniques de l'activité nos 15.

act. 15 : entret. pop. nouv. (Mp M1 M2)	fonct.	maint. (1.0)	constr. (.0 .0)	demant. (.0 .0)
3 mat. prem. min.	.076	.017	.	.
4 energie	-2.510	-.565	.	.
5 biens interm.	-1.044	-.627	.	.
6 equip. base	-.889	-.659	-310.68	.
7 machines 1	-1.911	-2.582	-2.041	.
8 machines 2	-.042	-.059	-.27	.
9 bio-biens	-12.989	-3.901	.	.
10 biens cons.	-8.408	-5.05	.	.
11 serv. transp.	-1.174	-.705	.	-3.568
12 serv. gestion	-6.664	-1.502	-28.173	-6.403
13 serv. adm.	-4.112	-.402	.	.
14 serv. steduc	-10.467	-2.357	.	.
15 serv. distrib.	-13.548	-5.232	.	.
16 travail	22.082	.	.	.

ANNEXE 2 - Coefficients techniques de la transformation  $h_{\#}$ .

(M1 M2)	(.5 .5)
5 biens interm.	-9.
6 equip. base	-51.78
12 serv. gestion	-2.56

La ligne (M1 M2) fournit les coefficients  $M1(h_{\#})$  et  $M2(h_{\#})$ . Sur la ligne représentant le bien  $i$  figure le coefficient  $Cu(i, h_{\#})$  (§ 5, seconde étape, TABLEAU 1.20). Les lignes omises correspondent à des coefficients nuls.

ANNEXE 3 - Coefficients techniques d'importation.

IMPORT. \ serv. CONS.	11 transp.	12 gestion	13 adm.	15 distrib.
2 mat. prem. veget.	-.023688	-.040973	-.026889	-.023047
3 mat. prem. min.	-.022814	-.039924	-.026616	-.022814
4 energie	-.009539	-.006092	-.005611	-.00497
5 biens interm.	-.03917	-.051203	-.02765	-.023554
7 machines 1	-.017018	-.041525	-.028591	-.024847
8 machines 2	-.017251	-.041978	-.029327	-.025298
9 bio-biens	-.008995	-.033863	-.032804	-.028042
10 biens cons.	-.02621	-.043851	-.036794	-.032258
11 serv. transp.	.	-.040109	-.030994	-.026436
12 serv. gestion	-.022288	.	-.029718	-.022288
13 serv. adm.	-.027397	-.09589	.	-.027397

Les lignes correspondent aux biens importés et les colonnes aux biens consommés pour les importations : la ligne représentant le bien  $i'$  et la colonne représentant le bien  $i$  fournissent le coefficient  $Cz(i, i')$  [§ 5, relation (1.5.4)]. Les lignes ou colonnes omises correspondent à des coefficients nuls.



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] ADEMAST - Charbon 1984 - Publ. ADEMAST, Paris, 1984.
- [2] AGENCE FRANCAISE POUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE - Recueil de données sur l'énergie - Service études et recherches technico-économiques, 8/1983.
- [3] B.BRUNHES - Présentation de la comptabilité nationale - Coll. INSEE, C 51, 6ème édition, 1976.
- [4] COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN - Essai du bilans énergétiques 2000 suivant deux scénarios - Préparation du VIIème plan, commission énergie, Document de travail, 26/1/1975.
- [5] COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN - Bilans énergétiques 1973 et 1974 - Préparation du VIIème plan, commission énergie, Document no 4, 26/3/1975.
- [6] P.COURREGÉ, J.DEFLANDRE, P.MATARASSO - Une maquette de macroéconomie physique : (I) présentation d'un jeu de données techniques - Fascicule déposé au centre de documentation du CNRS, 1982.
- [7] P.COURREGÉ - ATHEMA : modèle macroéconomique pour la prospective libre - Document multigraphié, 1985.
- [8] P.COURREGÉ, J.DEFLANDRE, P.MATARASSO - Modalités de constitution et données techniques du modèle ATHEMA - En préparation.
- [9] M.FOLLY, H.GRESH - Les marges de capacité de production industrielle inutilisée - Economie et Statistique, 136, 1981, pp. 17-28.
- [10] GROUPE DE BELLEVUE - PROJET ALTER ; étude d'un avenir énergétique pour la France axé sur le potentiel renouvelable - Fascicule multigraphié, Ed. Syros, 1978.
- [11] INSEE - Annuaire statistique de la France 1975 - 80ème volume, résultats de 1973, nouvelle série no 22.
- [12] INSEE - Système élargi de comptabilité nationale ; méthodes - Coll. INSEE, C 44-45, 1976.
- [13] INSEE - Rapport sur les comptes de la nation 1975 - Coll. INSEE, C 49, 1976.
- [14] INSEE - Tableaux de l'économie Française - Edition 1976.
- [15] INSEE - Rapport sur les comptes de la nation 1976 - Coll. INSEE, C 52-53, 1977.
- [16] INSEE - Les comptes de patrimoine ; une première expérience - Coll. INSEE, C 89-90, 1980.
- [17] J.MAIRESSE - L'évaluation du capital fixe productif ; méthodes et résultats - Coll. INSEE, C 18-19.
- [18] J.PARDE - Biomasse forestière et énergie - in "Energie solaire en agriculture", séminaire organisé par l'ADEPRINA, 1979.
- [19] C.ROLEN - Les importations de matières premières - Economie et Statistique, 138, 1981, pp. 81-91.



§ 1 - INTRODUCTION

Cet exposé présente des analyses statiques, au voisinage du régime de référence de la micro-maquette (Exposé no 1), de l'influence d'une augmentation du prix de l'énergie importée sur la croissance, soit croissance standard, i.e. homothétique de la croissance antérieure, soit croissances différenciées de certains parcs.

Plus précisément, faisant l'hypothèse d'un triplement du prix de l'énergie importée, on étudie comment influent sur les taux de l'une ou l'autre des croissances précitées, d'une part les contraintes extérieures dues aux limitations des possibilités de réaménagement des échanges, d'autre part les contraintes techniques dues à l'état considéré du système productif local, en l'occurrence celui du régime de référence.

La perspective de ces études fait partie du projet de la micro-maquette tel qu'il est exprimé par sa démarcation [Exp no 1, point (f) du § 1] : le choix d'un calage sur l'année 1973 doit permettre de situer cette maquette par rapport aux phénomènes liés à l'augmentation du prix du pétrole à la fin de cette année. Les études présentées dans le présent exposé, qui ne constituent qu'un aspect de l'approche envisagée de ces phénomènes au moyen de la micro-maquette, ont en fait les deux buts spécifiques ci-après.

D'une part elles constituent un préliminaire aux études de scénarios présentées dans l'Exposé no 4 : les paramètres déterminants des contraintes supplémentaires en cause (contraintes extérieures et contraintes techniques), ici évalués dans le cadre simple de réalisations statiques, seront ensuite intégrés dans les réalisations évolutives qui interviennent dans cet exposé.

D'autre part elles permettent d'illustrer les possibilités du modèle au travers du maniement de la micro-maquette dans une expérimentation numérique : il s'agit typiquement d'études de multiplicité et de variabilité ([3], §9) conduisant à l'identification de contraintes supplémentaires. Dans ce sens, l'exposé fait systématiquement usage de l'appareil formel introduit dans [3], comme tous ceux de la série "micro-maquette" (Exposé no 1, § 1).

Eu égard aux deux objectifs précédents (et à ce qu'est la micro-maquette ; Exposé no 1, § 1), les régimes fournis par les déterminations présentées ci-après ne doivent pas être interprétés sans précautions en termes "réalistes". Ils doivent plutôt être considérés comme des intermédiaires d'évaluation, images globales qui permettent de justifier, par leur caractère qualitativement raisonnable (i.e. par l'absence d'anomalie majeure relativement à des situations historiques ou à des phénomènes économiques déjà identifiés), la plausibilité des hypothèses (techniques ou circonstancielles) sous-jacentes aux jeux de données introduits ; une part importante de l'exposé concerne donc la construction de ces derniers (§ 2, § 3, § 6).

Les phénomènes économiques "déjà identifiés" auxquels on s'intéresse ici concernent donc la situation du régime de référence, avec son système productif et son environnement extérieur, face à une augmentation importante (pour fixer les idées à un triplement) du prix de l'énergie importée. Ils peuvent être décrits schématiquement par les points suivants :

(a) l'augmentation du prix de l'énergie réclame, sauf à admettre un déficit de la balance des échanges extérieurs, un réaménagement en volumes de ces échanges pour payer le surcout de l'énergie, cela, soit par une diminution des importations, soit par une augmentation des exportations ;

(b) la situation de concurrence et l'inertie des marchés extérieurs fait que les volumes d'exportations ne peuvent pas fortement augmenter et les volumes d'importations fortement diminuer d'une année sur l'autre ;  
 (c) les limitations auxquelles est soumis le réaménagement des échanges extérieurs affectent les possibilités de croissance, tant en ce qui concerne la poursuite de la croissance antérieure dont le taux doit être réduit, qu'en ce qui concerne les possibilités de croissances différenciées privilégiant le développement des techniques nouvelles par exemple de production d'énergie ;  
 (d) une augmentation du chômage est concomitante du ralentissement de la croissance.

On va introduire ci-après (§ 2) un système de contraintes supplémentaires ([3], § 6) qui, jointes aux contraintes fondamentales ([3], § 5) déterminées par le jeu de référence de la micro-maquette (Exposé no 1, § 5), font apparaître, via des déterminations convenables, les phénomènes ci-dessus. De plus, l'étude de variabilité montre que les intervalles de valeurs des paramètres déterminants pour lesquels ces phénomènes apparaissent sont assez étroits.

En particulier, des limitations assez strictes du réaménagement possible des échanges extérieurs sont nécessaires pour cela : sous l'hypothèse d'un triplement du prix de l'énergie importée, la limitation bien par bien à 1.3 fois les valeurs du régime de référence pour les différences "exportation - importation" fait apparaître les points (c) et (d), tandis que la limitation, moins serrée, à 2 fois ces valeurs permet la poursuite de la croissance antérieure (déterminations 2.3.1 et 2.3.2).

## § 2 - JEUX DE DONNEES

L'appareil nominatif (le système de nomenclatures) correspond au descriptif fondamental de référence (Exposé no 1, § 2) : cas statique, avec une période élémentaire de un an ; descriptif consolidé, i.e. avec un seul secteur intérieur qui est désigné par  $s_n$ .

Le jeu de données techniques est le jeu de référence (Exposé no 1, § 5).

Les dotations et prélèvements sont ceux du régime de référence : dotation de sol végétal (bien no 1) et prélèvement de service administratif (bien no 13), représentant respectivement la superficie de sol végétal disponible et les consommations finales de défense [Exposé no 1, points (a) et (i) du § 3].

Les prix  $Pr(e)$  ( $e \in E$ ), qui sont tous des prix extérieurs ([3], alinéa 3.b) puisque le descriptif est consolidé, sont ceux du régime de référence [Exposé no 1, point (k) du § 3] sauf celui de l'énergie importée dont l'augmentation est envisagée. On désigne par  $P_{en}$  ce dernier prix.

Les contraintes supplémentaires qui vont permettre de cerner la situation envisagée (§ 1) sont spécifiées par les relations (2.2.1) à (2.2.9) ci-dessous. Elles concernent respectivement, les limitations d'échanges extérieurs [rel. (2.2.1) et (2.2.2)], l'état du système productif [rel. (2.2.3) et (2.2.4)], le niveau de la population [rel. (2.2.5)], l'impératif de croissance standard [rel. (2.2.6)], les limitations techniques d'une croissance différenciée [rel. (2.2.8)], les conditions financières [rel. (2.2.9)] :

$$(2.2.1) \quad \text{pour } e \in E_{\text{exp}}, \quad Xz(e) \leq (1+c)Yz(e) ;$$

$$(2.2.2) \quad \text{pour } e \in E_{\text{imps}}, \quad Xz(e) \leq \underline{Xz}(e) ;$$

- (2.2.3) pour  $j \in J$ ,  $X_p(j) = \underline{X}_p(j)$  ;
- (2.2.4) pour  $j \in J_{en}$ ,  $X_f(j) \geq b_j \underline{X}_f(j)$  ;
- (2.2.5)  $X_f(j_{ps}) = \underline{X}_f(j_{ps})$  ;
- (2.2.6) pour  $h \in H_C$ ,  $X_u(h) \geq V_u \underline{X}_u(h)$  ;
- (2.2.7) pour  $h \in H_D$ ,  $X_u(h) = 0$  ;
- (2.2.8) pour  $i \in I_{st}$ ,  $a_i C_f(i, j_i) X_p(j_i) + \sum_{j \in J_{st}} C_u(i, h_j) X_u(h_j) + V z_i \geq 0$   
où  $V z_i = \underline{a}_i X_z(\underline{e}_i) - \underline{a}_i X_z(\underline{e}_i)$  ;
- (2.2.9)  $W_m(f_m) = 0$ ,  $W_p(f_p) = 0$ ,  $R_m(f_m) = R_m$ .

Dans ces relations, les notations générales sont celles du texte théorique [3] (§ 2, 3, 4), avec la simplification consistant en ce que les mentions de l'unique période et de l'unique secteur intérieur sont omises ; par exemple,  $X_p(j)$  est mis pour  $X_p(t_0, s_n, j)$ ,  $X_u(h)$  pour  $X_u(t_0, s_n, h)$ ,  $X_z(e)$  pour  $X_z(t_0, e)$ , où  $s_n$  désigne le secteur intérieur, etc. Par ailleurs, on désigne par  $\underline{X}_f(j)$  ( $j \in J$ ),  $\underline{X}_p(j)$  ( $j \in J$ ),  $\underline{X}_u(h)$  ( $h \in H$ ),  $\underline{X}_z(e)$  ( $e \in E$ ), les niveaux des variables de types  $X_f$ ,  $X_p$ ,  $X_u$ ,  $X_z$  respectivement dans le régime de référence (Exposé no 1, § 3 et § 6).

On désigne de plus : par  $E_{exp}$  (resp.  $E_{imps}$ ) le sous-ensemble de  $E$  constitué des exportations (resp. des importations de services, i.e. des biens nos 11, 12, 13) ; par  $\underline{e}_i$  (resp.  $\underline{e}_i$ ) l'élément de  $E$  qui représente l'exportation (resp. l'importation) du bien  $i$  ; par  $h_j$  l'élément  $(j_0, j)$  de  $H$  qui représente la construction du parc  $j \in J$  et par  $H_C$  [resp.  $H_D$ ] le sous-ensemble de  $H$  formé des constructions [resp. des démantèlements], i.e. des  $h_j$  ( $j \in J$ ) [resp. des  $(j, j_0)$  ( $j \in J$ )] ; par  $J_{en}$  le sous-ensemble de  $J$  constitué des activités productrices d'énergie (nos 1 et 2) ; par  $j_i$  l'activité (ici unique) produisant le bien  $i$  ; par  $j_{ps}$  l'activité "entret. pop. std." (no 14) ; par  $J_{st}$  le sous-ensemble de  $J$  formé des parcs, dits stratégiques (nos 1, 2, 6), dont on se propose d'étudier la croissance différenciée ; par  $I_{st}$  le sous-ensemble de  $I$  formé des biens nos 6, 7, 8, 12, supposés sensibles pour les constructions des parcs stratégiques  $h_j$  ( $j \in J_{st}$ ) ; par  $f_m$  et par  $f_p$  respectivement les postes (emprunts,  $s_n$ ) et (prêts,  $s_n$ ) des nomenclatures  $F_m$  et  $F_p$  d'imputations en dettes et en créances ([3], alinéa 2.b).

Par ailleurs,  $c$ ,  $a_i$ ,  $\underline{a}_i$ ,  $\underline{a}_i$  ( $i \in I_{st}$ ),  $b_j$  ( $j \in J_{en}$ ),  $R_m$ ,  $\underline{Y}_z(e)$  ( $e \in E_{exp}$ ) sont des données  $\geq 0$ , tandis que  $V_u$  est une variable spéciale  $\geq 0$  :  $c$  est un taux de croissance ;  $V_u$ ,  $a_i$ ,  $\underline{a}_i$ ,  $\underline{a}_i$ ,  $b_j$  sont des coefficients compris entre 0 et 1 ;  $R_m$  désigne le montant exogène d'un emprunt ; enfin  $\underline{Y}_z(e)$  désigne, pour le bien intervenant dans l'échange  $e$ , la différence "niveau d'exportation moins niveau d'importation" dans le régime de référence si cette quantité est  $> 0$  et zéro sinon (cas des biens nos 8 et 13) ; autrement dit,

$$(2.2.10) \quad \underline{Y}_z(\underline{e}_i) = \underline{X}_z(\underline{e}_i) - X_z(\underline{e}_i) \text{ si } i \in I_{exp+} \text{ et } \underline{Y}_z(\underline{e}_i) = 0 \text{ si } i \in I_{exp-},$$

où  $I_{exp+}$  [resp.  $I_{exp-}$ ] désigne l'ensemble des  $i \in I_{exp}$  tels que  $\underline{X}_z(\underline{e}_i) > X_z(\underline{e}_i)$  [resp.  $\underline{X}_z(\underline{e}_i) \leq X_z(\underline{e}_i)$ ],  $I_{exp}$  désignant l'ensemble des biens pouvant donner lieu à exportation par définition de la nomenclature d'échanges (biens nos 5 et 7 à 13), lesquels peuvent tous aussi donner lieu à importation (Exposé no 1, § 2, TABLEAU 1.4).

En ce qui concerne la relation (2.2.1), on souligne d'abord que ce sont les quantités  $\underline{Y}_z(e)$ , définies par (2.2.10), qui figurent au second membre et non

les niveaux d'exportations  $Xz(e)$ . Dans ce sens, les relations (2.2.1) et (2.2.2) sont à rapprocher de la relation,

$$(2.2.11) \quad \text{pour } i \in I_{\text{exp}}, \quad Xz(\underline{e}_i) - Xz(\underline{e}_i) \leq (1+c)[Xz(\underline{e}_i) - Xz(\underline{e}_i)],$$

ou d'une relation plus générale comportant, au second membre, des taux de croissance  $c_i$  dépendant de  $i \in I_{\text{exp}}$ .

Pour les biens  $i \in I_{\text{exp}+}$ , i.e. lorsque le second membre de (2.2.11) est  $> 0$ , cette relation est pratiquement équivalente à la relation (2.2.1) dans le sens suivant : dans un régime déterminé par résolution d'un problème d'optimisation ([3], alinéa 7.9), le niveau d'une importation  $Xz(\underline{e}_i)$  est en général nul si le niveau de l'exportation  $Xz(\underline{e}_i)$  du même bien est  $> 0$ , car le couple  $(Xz(\underline{e}_i) - Xz(\underline{e}_i), 0)$  constitué seulement d'une exportation est alors en général plus avantageux que le couple  $(Xz(\underline{e}_i), Xz(\underline{e}_i))$  comportant importation et exportation ; cela résulte des contraintes de conservation des biens ([3], alinéa 5.a), les coefficients techniques d'échanges (coefficients de type  $Cz$  ; [3], alinéas 4.a,b) étant ici tous  $\leq 0$  (Exposé no 1, § 5). Le vocable "en général" se réfère ci-dessus, d'une part à l'utilisation de critères qui, comme ceux introduits au § 3, ne favorisent pas les importations en tant que telles (on pourrait aussi introduire des critères pour lesquels il en est autrement), d'autre part aux situations étudiées ici où ce sont les contraintes d'échanges extérieurs qui sont dominantes (§ 4, § 5, § 6).

Ainsi, pour les biens  $i \in I_{\text{exp}+}$ , les contraintes (2.2.1) comme les contraintes (2.2.11) éliminent les redondances importations/exportations, cela "en général", i.e. sauf si le critère en veut autrement. Cette élimination, qui contredit le point (b) du § 1, peut sembler manquer de réalisme, surtout dans un cadre très agrégé comme celui de la micro-maquette, où chaque bien échangé représente un agrégat inhomogène dont les constituants importés peuvent ne pas être les mêmes que ceux exportés. Cependant, cette anomalie n'est qu'apparente, car l'élimination en question ne joue qu'au second ordre sur les composantes des régimes obtenus autres que les niveaux des échanges : formellement, cette dernière propriété tient à ce que seules les consommations dues aux échanges sont concernées ; on la fera aussi apparaître numériquement au § 6, en rétablissant la redondance voulue.

Pour les biens  $i \in I_{\text{exp}-}$ , i.e. lorsque le second membre de (2.2.11) est  $\leq 0$  (cas du bien no 13), cette relation, qui stipule alors plutôt une minoration du niveau d'importation, s'écarte de la relation (2.2.1) qui stipule une majoration d'exportation. Au lieu de ces minoration et aussi conformément au point (b) du § 1, les contraintes (2.2.2) introduisent, dans ce cas et plus généralement pour tous les services, les niveaux du régime de référence comme bornes supérieures des niveaux d'importations.

Les contraintes (2.2.3) et (2.2.4) expriment que le système productif est celui du régime de référence (Exposé no 1, § 3 et § 6) : les niveaux des parcs sont les mêmes [rel. (2.2.3)], en particulier les activités nouvelles (nos 2, 6, 15) sont à zéro comme dans le régime de référence ; les niveaux de fonctionnement des activités locales de production d'énergie doivent valoir au moins une fraction donnée des niveaux du régime de référence [rel. (2.2.4)], cette minoration exprimant une rigidité du système énergétique.

La contrainte (2.2.5) fixe le niveau de la population au niveau du régime de référence.

Les contraintes (2.2.6) expriment que les niveaux de construction des divers parcs valent au moins une même fraction  $V_u$  de ceux du régime de référence. Ainsi, lorsque ces contraintes sont serrées (ce qui est le cas "en général", i.e. pour les régimes optimaux des critères considérés au § 3), la

croissance est homothétique de celle du régime de référence, le coefficient d'homothétie  $V_u$  pouvant être exogène ou endogène. Ces contraintes constituent un moyen d'exprimer l'équilibre des forces socio-économiques qui font que chacune des diverses branches d'activité cherche à maintenir "sa" croissance ; elles constituent donc une expression du libéralisme économique dans l'ordre de la croissance.

On souligne que le coefficient  $V_u$  représente un facteur d'homothétie du vecteur,  $X_u(h_j)$  ( $j \in J$ ), des croissances de référence des diverses parcs et non un taux de croissance moyen : on évite ici de considérer un quelconque taux de croissance moyen à cause du caractère non intrinsèque de cette notion en termes physiques.

Les contraintes (2.2.7) excluent les démantèlements : on s'intéresse ici à la croissance au sens strict plutôt qu'au redéploiement ou à la reconversion ; ces derniers, ainsi que les démantèlements qu'ils supposent, interviennent par contre dans les études de scénarios qui sont présentés dans l'Exposé no 4.

Les contraintes (2.2.8) visent à prendre en compte, concernant les constructions de parcs des activités stratégiques (i.e. les transformations  $h_j$ ,  $j \in J_{st}$ ), des limitations techniques que les contraintes de conservation des biens (contraintes de type  $x_b$  ; [3] alinéa 5.a) ne suffisent pas à représenter convenablement, vu le caractère très agrégé de la nomenclature de biens. Ainsi, pour chaque bien  $i \in I_{st}$ , la contrainte (2.2.8) d'indice  $i$  renforce la contrainte  $x_b(i)$  : seules une fraction  $a_i$  de la production locale maximum  $C_f(i, j_i) X_p(j_i)$  [on note que c'est  $X_p(j_i)$  et non  $X_f(j_i)$  qui figure dans le premier terme de la somme au premier membre de (2.2.8)] et une fraction  $\underline{a}_i$  des quantités importées [premier terme de  $Vz_i$ ] peuvent servir aux constructions en question [second terme au premier membre de (2.2.8)] ; tandis que seule la fraction  $\underline{a}_i$  des quantités exportées [second terme de  $Vz_i$ ] peut concurrencer les utilisations locales visées. On note que la contrainte (2.2.8) d'indice  $i$  est neutre pour la spécification  $a_i = \underline{a}_i = 1$ , car elle est alors impliquée par la contrainte fondamentale  $x_b(i)$ .

Enfin les contraintes financières (2.2.9) stipulent que, d'une part les montants des encours de dettes et des encours de prêts valent zéro au début de la période considérée (première et seconde relations), d'autre part, pendant cette période, le montant des emprunts contractés vaut  $R_m$  (troisième relation). De ces contraintes résulte que l'emprunt en cause est la seule ressource susceptible d'équilibrer un déficit commercial, i.e. un solde  $Z_n$  négatif ([3], alinéas 4.d et 5.e) ; en particulier, elles imposent l'équilibre des échanges extérieurs, si  $R_m = 0$ .

En conclusion de cette présentation des jeux de données, on souligne son caractère générique : tant l'appareil conceptuel que les notations introduites ci-dessus à propos de la micro-maquette pourrait être repris dans le cadre d'autres descriptifs fondamentaux destinés à étudier les mêmes phénomènes de façon moins agrégée.

### § 3 - SPECIFICATIONS

On spécifie d'abord ci-après les jeux de valeurs des paramètres  $P_{en}$ ,  $c$ ,  $b_j$  ( $j \in J_{en}$ ),  $V_u$ ,  $a_i$ ,  $\underline{a}_i$ ,  $\underline{a}_i$  ( $i \in I_{st}$ ),  $R_m$  laissés génériques dans la présentation du § 2. Ces jeux sont décomposés en blocs correspondant aux divers types de paramètres, chaque bloc donnant lieu à plusieurs variantes.

On spécifie aussi les divers critères utilisés qui, croisés avec les jeux de données précédents, permettent de classer les déterminations par optimisation que l'on a en vue en séries thématiques (§ 4, § 5, § 6).

On distingue cinq blocs : "prix de l'énergie" (prix  $P_{en}$ ), "limitations des échanges" (coefficient  $c$ ), "croissance standard" (coefficient  $Vu$ ), "serrage technique" (coefficients  $a_i, \underline{a}_i, \underline{\underline{a}}_i, i \in I_{st}$ ), "serrage financier" (montant  $R_m$ ).

Le bloc "prix de l'énergie" (no 1) comporte trois variantes : la variante de référence (no 1), la variante de facteur 3 (no 2) qui se rapporte au premier choc pétrolier, la variante de facteur 5 (no 3) qui se rapporte au second,  $P_{en}$  valant respectivement, le prix de référence  $\underline{P}_{en} = 0.1733$  GF73 par MTEP, 3 fois  $\underline{P}_{en}$  et 5 fois  $\underline{P}_{en}$ .

Le bloc "limitations d'échanges" (no 2) comporte trois variantes : la variante de référence (no 1), la variante bridée (no 2), la variante aisée (no 3), qui correspondent respectivement à  $c = 0$ ,  $c = 0.30$ ,  $c = 1$ .

Le bloc "croissance standard" (no 3) comporte quatre variantes : d'abord la variante sans impératif de croissance (no 1) qui correspond à un coefficient  $Vu$  endogène, ensuite trois variantes (nos 2, 3, 4) avec des impératifs de croissance valant 20%, 50%, 100%, de la croissance de référence [contraintes (2.2.6)], variantes qui correspondent à un coefficient  $Vu$  exogène, avec les valeurs  $Vu = 0.20$ ,  $Vu = 0.50$ ,  $Vu = 1$  respectivement.

Le bloc "contraintes techniques" (no 4) comporte deux variantes : la variante neutre (no 1) où tous les coefficients  $a_i$  ( $i \in I_{st}$ ) valent 1, la variante stricte (no 2) où les coefficients  $a_i, \underline{a}_i, \underline{\underline{a}}_i$  sont donnés par le tableau ci-après qui est commenté au § 5 à propos de la série no 4.

TABLEAU 2.1

bien i	$a_i$	$\underline{a}_i$	$\underline{\underline{a}}_i$
6 equip. base	0.12		
7 machines 1	0.15	1.00	0.15
8 machines 2	0.08	1.00	0.30
12 serv. gestion	0.007	0.00	0.00

Le bloc "contraintes financières" (no 5) comporte deux variantes : la variante d'équilibre (no 1) pour laquelle  $R_m = 0$ , la variante de déficit (no 2) pour laquelle  $R_m = 100$  GF73, montant pris suffisamment élevé pour qu'il ne soit pas limitatif.

Par ailleurs, les coefficients  $b_j$  ( $j \in J_{en}$ ) de rigidité du système énergétique local sont pris égaux à 0.8 dans toutes les déterminations.

Chaque jeu de paramètres est ainsi défini par une suite de 5 variantes (une par bloc) et peut être repéré par un nombre de 5 chiffres représentant, dans l'ordre des blocs, les numéros des variantes en cause : le nombre  $ijklm$  représente le jeu de paramètres défini par les variantes  $i, j, k, l, m$  des blocs 1, 2, 3, 4, 5 respectivement. Comme un jeu de données est associé à chaque jeu de paramètres (§ 2), chaque tel nombre de cinq chiffres, appelé indicatif, définit sans ambiguïté un jeu de données, i.e. une réalisation, du modèle ([3], alinéa 7.c) ; on désigne de façon générique par  $Res0$  cette réalisation.

Les critères que l'on va utiliser sont les suivants :

$$(2.3.1) \quad C_1(X) = D_p(f_p) - R_m(f_m),$$

$$(2.3.2) \quad C_2(X) = Vu,$$



$$(2.3.3) \quad C_{3,j}(X) = Xu(h_j) \quad (j \in J),$$

$$(2.3.4) \quad C_4(X) = Xu(h_{\#}),$$

où, en plus des notations introduites au § 2, on désigne par  $h_{\#}$  la transformation  $(j_{ps}, j_{pn})$  (transformation no 14),  $j_{pn}$  étant l'activité "entret. pop. nouv." (no 15).

En vertu des contraintes d'équilibre dépenses-recettes pour le secteur intérieur (contraintes de type  $q_0$ ; [3], alinéa 5.c) et des contraintes financières (2.2.9), le critère  $C_1(X)$  vérifie aussi,

$$(2.3.5) \quad C_1(X) = Zr(s_n) - Zr(s_n) = Z_n ;$$

autrement dit ([3], alinéa 4.d),  $C_1(X)$  représente le solde (la marge totale) des échanges extérieurs pendant la période considérée ; la spécification de critère  $\max C_1(X)$  correspond donc à la maximisation de la marge d'échanges extérieurs ; on désigne par marge/max cette spécification. On note qu'en cas de déficit,  $C_1(X)$  est  $< 0$  comme  $Z_n$ , d'après (2.3.5).

La spécification de critère  $\max C_2(X)$  correspond à la maximisation du facteur de croissance standard  $V_u$  ; on désigne par croiss.std/max cette spécification. On note que, reposant essentiellement sur les contraintes (2.2.6), elle fournit un vecteur,  $Xu(h_j)$  ( $j \in J$ ), de croissances des divers parcs homothétique du vecteur de référence  $Xu(h_j)$  ( $j \in J$ ).

Le critère  $C_{3,j}(X)$  mesure le volume des constructions (i.e. le nombre de modules construits) pour le parc  $j$  pendant la période considérée. On désigne par croiss.(j)/max la spécification de critère  $\max C_{3,j}(X)$  ( $j \in J$ ). Ces spécifications vont être utilisées, d'une part pour les parcs stratégiques  $j \in J_{st}$ , d'autre part pour les parcs d'habitat  $j_{ps}$  et  $j_{pn}$  ; chacune d'elles correspond à une croissance différenciée typique, par opposition à la croissance standard représentée par la spécification croiss.std/max.

De façon assez particulière, les spécifications croiss( $j_{ps}$ )/max et croiss( $j_{pn}$ )/max signifient une maximisation de la croissance du niveau de vie, vu que le niveau de la population  $Xf(j_{ps}) + Xf(j_{pn})$  est fixé et égal à  $Xf(j_{ps})$  [contrainte (2.2.3) pour  $j=j_{pn}$  et contrainte (2.2.5)] et que le quotient  $[Xp(j_{ps}) + Xp(j_{pn})]/[Xf(j_{ps}) + Xf(j_{pn})]$  fournit une mesure du niveau de vie moyen de la population [Exposé no 1, points (e) et (f) du § 3, point (d) du § 5].

Enfin la spécification de critère  $\max C_4(X)$ , qui est désignée par transf/max, exprime une visée d'économies (en particulier d'énergie) dans l'habitat via la transformation  $h_{\#}$  des installations standard en installations nouvelles qui sont supposées être plus économes [en particulier en énergie ; Exposé no 1, point (b) du § 5].

Les diverses déterminations par optimisation ([3], alinéa 7.d), dont les résultats figurent dans le fascicule annexe, sont regroupées en six séries thématiques. Les cinq premières concernent la réalisation  $Res_0$  définie ci-dessus (§ 4 et § 5) ; la sixième concerne la redondance importations/exportations (§ 6). Pour chacune de ces séries :

- on indique d'abord son thème, puis les jeux de données retenus [en soulignant les blocs (les caractéristiques) invariants et ceux qui varient] et les spécifications des critères utilisés ;
- on commente ensuite brièvement les résultats obtenus, d'une part en les confrontant au phénomène en cause [points (a) à (d) du § 1], d'autre part en en dégageant éventuellement des propriétés marquantes, entre autres celles qui justifient de retenir pour des études ultérieures certaines spécifications

testées ici. On souligne que, conformément à l'orientation assez "technique" de cet exposé (§ 1), ces commentaires ne donnent qu'une vue très partielle des résultats : dans la visée d'illustration numérique du modèle qui est celle de la micro-maquette (Exposé no 1, § 1), ils sont destinés à faciliter l'examen des résultats et non à le remplacer.

#### § 4 - CROISSANCE STANDARD

##### Série no 1 - Situation de référence

A titre de point de repère pour les séries ultérieures, on étudie l'influence sur le régime de référence des réaménagement envisagés pour les échanges extérieurs.

Les blocs nos 1, 3, 4, 5 sont invariants, avec les spécifications :

- variante de référence pour le "prix de l'énergie" ;
- variante à 100% pour la "croissance standard" ;
- variante stricte pour les "contraintes techniques" ;
- variante d'équilibre pour les "contraintes financières".

Les trois variantes du bloc "limitations d'échanges" sont croisées avec les spécifications de critère marge/max et croiss.std/max, ce qui donne les déterminations :

- variante de référence, marge/max pour la détermination 2.1.1 (11421) ;
- variante de référence, croiss.std/max pour la détermination 2.1.2 (11421) ;
- variante bridée, marge/max pour la détermination 2.1.3 (12421) ;
- variante bridée, croiss.std/max pour la détermination 2.1.4 (12421) ;
- variante aisée, marge/max pour la détermination 2.1.5 (13421) ;
- variante aisée, croiss.std/max pour la détermination 2.1.6 (13421).

Les régimes fournis par ces déterminations sont voisins du régime de référence pour ce qui est des niveaux d'activités et de transformations. Par contre les niveaux d'échanges sont notablement différents, cette différence tenant et se limitant pratiquement à la suppression des redondances importations/exportations qui est postulée ici [contraintes (2.2.1)].

On souligne que les réaménagements supposés possibles pour les échanges extérieurs dans les déterminations 2.1.3 à 2.1.6 se traduisent par des augmentations notables de la marge d'échanges extérieurs (déterminations 2.1.3 et 2.1.5), mais seulement par de faibles augmentations du facteur de croissance standard (déterminations 2.2.4 et 2.2.6).

On souligne aussi que les taux d'utilisation des parcs sont en général plus élevés sous la spécification de critère croiss.std/max que sous la spécification marge/max ; toutefois la production d'énergie (activité no 1) fait exception à cette règle.

##### Série no 2 - Déficits

Sous l'hypothèse d'augmentation d'un facteur 3 du prix de l'énergie avec impossibilité de réaménagement des échanges extérieurs, on étudie le déficit de ces échanges [point(a) du § 1] en fonction des diverses variantes concernant le maintien d'une croissance standard. On examine aussi l'éventualité d'une augmentation d'un facteur 5.

Les blocs nos 1, 2, 4, 5 sont invariants, avec les spécifications :

- variante de facteur 3 pour le "prix de l'énergie" ;
- variante de référence pour les "limitations d'échanges" ;
- variante stricte pour les "contraintes techniques" ;

- variante de déficit pour les "contraintes financières".

Les quatre variantes du bloc "croissance standard" sont croisées avec la spécification de critère marge/max, ce qui donne les déterminations :

- variante sans impératif, marge/max pour la détermination 2.2.1 (21122) ;
- variante à 20%, marge max pour la détermination 2.2.2 (21222) ;
- variante à 50%, marge/max pour la détermination 2.2.3 (21322) ;
- variante à 100%, marge/max pour la détermination 2.2.4 (21422) ;

Un déficit (de 10 GF73) apparaît, même avec une croissance standard nulle, i.e. dès la détermination 2.2.1. Le sous-emploi, mesuré par l'excédent du bien travail (no 16), est considérable (4.70 millions d'emplois). L'absence de croissance entraîne un fonctionnement ralenti pour les industries de biens d'équipement (activités nos 3, 4, 5).

Le régime fourni par la détermination 2.2.4 est identique à celui fourni par la détermination 2.1.1, sauf en ce qui concerne le montant en valeur des importations d'énergie, lequel est multiplié par le facteur 3 en cause et passe de 20.98 à 62.94 GF73 ; la différence entre ces deux montants (41.96 GF73) est, comme il se doit, égale à la somme du déficit pour le premier régime (39.28 GF73) et de l'excédent pour le second (2.68 GF73).

Le tableau ci-après récapitule les variations respectives du facteur de croissance, du niveau de sous-emploi et du déficit extérieur.

TABLEAU 2.2	détermination	2.2.1	2.2.2	2.2.3	2.2.4
	croiss. std (fact. Vu)	0.00	0.20	0.50	1.00
	sous-emploi (Mempl.)	4.70	3.92	2.76	0.81
	déficit ext. (GF73)	10.13	15.96	24.71	39.28

On évitera d'interpréter trop vite les niveaux ci-dessus de sous-emploi comme des niveaux de "chômage" : il s'agit d'excédents bruts de travail, i.e. de valeurs de la variable dérivée  $Y_b(i)$  ([3], alinéa 4.a) lorsque  $i$  est le bien "travail" (no 16). Pour déterminer des niveaux de chômage à partir des niveaux de sous-emploi ici calculés, il faudrait tenir compte de l'inertie du système de l'emploi ; cela pourrait être fait par l'introduction de contraintes spéciales convenables, mais plutôt dans le cadre d'études de cheminements. Par ailleurs, on rappelle que la micro-maquette n'est pas spécialement axée sur l'étude du problème de l'emploi [Exposé no 1, point (d) du § 1].

Dans ce sens, la présente étude statique de variabilité a surtout pour but de confronter cette maquette aux points (a) à (d) du § 1 sous l'hypothèse très stricte que les échanges extérieurs ne peuvent pas être réaménagés : conformément au tableau précédent, la confrontation est satisfaisante puisqu'elle fait apparaître, au niveau qualitatif/quantitatif concerné, les relations exprimées par ces points entre baisse de la croissance standard, sous-emploi et déficit des échanges extérieurs ; de plus ce résultat est obtenu de façon endogène, c'est-à-dire, sans contrainte supplémentaire "ad hoc", comme seule conséquence de l'augmentation du prix de l'énergie, des limitations d'échanges et de la spécification de critère marge/max.

De façon analogue, les déterminations 2.2.5 et 2.2.6 concernent l'augmentation d'un facteur 5 du prix de l'énergie, mais avec possibilité de réaménagement des échanges extérieurs : le déficit est encore important (26.67 GF73) pour la variante bridée des limitations d'échanges, même sans impératif de croissance (détermination 2.2.5) ; il disparaît par contre pour la variante aisée, même avec un impératif de croissance (détermination 2.2.6).

### Série no 3 - Potentiel de croissance

Sous l'hypothèse d'augmentation d'un facteur 3 du prix de l'énergie, on étudie l'influence, sur le potentiel de croissance standard, des réaménagements envisagés pour les échanges extérieurs.

Les blocs nos 1, 3, 4, 5 sont invariants, avec les spécifications :

- variante de facteur 3 pour le "prix de l'énergie" ;
- variante sans impératif pour la "croissance standard" ;
- variante stricte pour les "contraintes techniques" ;
- variante d'équilibre pour les "contraintes financières".

Les deux dernières variantes du bloc "limitations d'échanges" sont croisées avec la spécification de critère  $\text{croiss.std/max}$ , ce qui donne les déterminations :

- variante bridée,  $\text{croiss.std/max}$  pour la détermination 2.3.1 (22121) ;
- variante aisée,  $\text{croiss.std/max}$  pour la détermination 2.3.2 (23121).

La détermination 2.3.1 confirme la forte dépendance du potentiel de croissance standard vis-à-vis des limitations d'échanges déjà indiquée par la série no 1 [points (c) et (d) du § 1] : pour le réaménagement de 30% des échanges extérieurs qu'offre la variante bridée, la valeur maximum du facteur de croissance standard est inférieure à 0.25 sous l'impératif d'équilibre financier des échanges ; comme pour la série no 2, un fort sous-emploi en découle (3.53 millions d'emplois).

La détermination 2.3.2 et la série no 2 montrent de plus la forte sensibilité de cette dépendance vis-à-vis du niveau des limitations d'échanges : le réaménagement de 100% qu'offre la variante aisée permet la croissance de référence (facteur  $V_u$  un peu supérieur à 1) ; le sous-emploi disparaît alors complètement.

### § 5 - CROISSANCE DIFFERENCIÉE

#### Série no 4 - Parcs stratégiques

Toujours sous l'hypothèse d'augmentation d'un facteur 3 du prix de l'énergie, on évalue le potentiel de croissance différenciée des parcs stratégiques en fonction de diverses hypothèses concernant les limitations d'échanges extérieurs, la croissance standard et les contraintes techniques. On fait apparaître en particulier que c'est seulement pour la variante aisée des limitations d'échanges extérieurs que les contraintes techniques sont serrées et que ces contraintes sont alors très limitatives.

Les blocs nos 1 et 5 sont invariants, avec les spécifications :

- variante de facteur 3 pour le "prix de l'énergie" ;
- variante d'équilibre pour les "contraintes financières".

Les deux dernières variantes du bloc "limitations d'échanges" sont croisées avec, d'une part les trois premières variantes du bloc "croissance standard" et les deux variantes du bloc "contraintes techniques", d'autre part avec les trois spécifications de critère  $\text{croiss(j)/max}$  correspondant aux parcs stratégiques  $j \in J_{st}$ . Parmi les  $2 \times 3 \times 2 \times 3 = 36$  combinaisons correspondant au plan complet, on retient les douze déterminations spécifiées dans le tableau suivant.

limit. éch.	croiss. std.	contr. techn.	parc j (max)	détermination
vte bridée	sans	stricte	energ. std.	2.4.1 (22121)
idem	idem	idem	energ. nouv.	2.4.2 (22121)
idem	idem	idem	machines 2	2.4.3 (22121)
idem	vte à 20%	idem	energ. std.	2.4.4 (22221)
idem	idem	idem	energ. nouv.	2.4.5 (22221)
idem	idem	idem	machines 2	2.4.6 (22221)
vte aisée	vte à 50%	idem	energ. std.	2.4.7 (23321)
idem	idem	idem	energ. nouv.	2.4.8 (23321)
idem	idem	idem	machines 2	2.4.9 (23321)
idem	idem	neutre	energ. std.	2.4.10 (23311)
idem	idem	idem	energ. nouv.	2.4.11 (23311)
idem	idem	idem	machines 2	2.4.12 (23311)

TABLEAU 2.3

Le choix de ces déterminations est motivé à postériori par les propriétés ci-après qu'elles font apparaître :

- dans le cas de la variante bridée du bloc "limitations d'échanges" (déterminations 2.4.1 à 2.4.6), aucune des contraintes techniques (2.2.8) n'est serrée ; de plus, le potentiel de croissance différenciée (i.e. la valeur du maximum) est alors fortement grévé par un impératif de croissance standard, même faible (i.e. à 20% de la croissance de référence ; déterminations 2.4.4 à 2.4.6) ;
- par contre, dans le cas de la variante aisée, c'est l'une ou l'autre de ces contraintes techniques qui est serrée, lorsqu'elles sont postulées (déterminations 2.4.7 à 2.4.9) ; tandis qu'en leur absence, le potentiel de croissance différenciée augmente très fortement (déterminations 2.4.10 à 2.4.12).

En bref, le potentiel de croissance différenciée est déterminé par les limitations d'échanges dans la variante bridée de ceux-ci et par les contraintes techniques dans la variante aisée.

Les valeurs des écarts et les valeurs duales correspondant aux contraintes techniques figurent au bas des listes de déterminations. On souligne que c'est la contrainte relative au bien "equip. base" qui est serrée dans le cas des parcs de production d'énergie, mais celle relative au bien "gestion" (représentant principalement ici des "études" ; Exposé no 1, § 2, TABLEAU 1.2) dans le cas du parc de machines.

On souligne aussi que le potentiel de croissance est nettement plus faible pour le parc "prod. energ. nouv." que pour le parc "prod. energ. std." : par exemple dans le cas où les limitations d'échanges dominent (déterminations 2.4.1 et 2.4.2) 0.62 contre 1.24 module/an, soit des croissances d'environ 6% et 12% par an en productibilité puisque, d'une part le parc de référence est de 10.70 modules, d'autre part les deux modules ont la même production (3.595 MTEP/an).

Le choix des coefficients qui fournissent cet ensemble cohérent de déterminations, a résulté de la démarche d'identification suivante :

- ainsi que cela apparaît dans les déterminations 2.4.4 à 2.4.6, la valeur charnière  $c = 0.30$  qui caractérise la variante bridée est voisine (par excès) de la valeur minimum de  $c$  permettant une croissance standard à 20% de la croissance de référence sous les hypothèses faites ici sur les blocs invariants ; par ailleurs, cette valeur de  $c$  ne contredit pas grossièrement les données économétriques correspondant au réaménagement des échanges extérieurs qui a suivi le premier choc pétrolier ([5], tome 3, pages 166 à 169).

- une fois cette valeur de  $c$  fixée, les coefficients  $a_i$ ,  $\underline{a}_i$ ,  $\underline{\underline{a}}_i$ , ont été déterminés pour faire apparaître les propriétés annoncées tout en restant dans des limites raisonnables ; par exemple la faible valeur (0.007) du coefficient  $a_i$  pour le bien "serv. gestion" correspond à ce que c'est surtout la composante "études" de ce bien qui intervient ici (Exposé no 1, § 2, TABLEAU 1.2).

Cette démarche, bien éloignée de la rigueur économétrique, s'inscrit dans la démarcation de la micro-maquette (Exposé no 1, § 1) : elle permet d'illustrer les possibilités du modèle en évitant un travail de documentation statistique que l'auteur n'a pas les moyens de faire, mais qui serait indispensable pour mettre en place un modèle moins agrégé (Exposé no 1, début du § 4 et fin du § 5). Les propriétés ainsi dégagées serviront de référence pour le choix des jeux de données relatifs aux études de scénarios présentées dans l'Exposé no 4 : en particulier, choix de la variante bridée pour les limitations d'échanges, sans les contraintes techniques (2.2.8) montrées ci-dessus être alors superflues.

#### série no 5 - Parcs d'habitat

Parallèlement aux séries no 3 et 4, et sous la même hypothèse d'augmentation d'un facteur 3 du prix de l'énergie, on évalue les potentiels de croissance différenciée des parcs d'habitat, "entret. pop. std." et "entret. pop. nouv." notés  $j_{ps}$  et  $j_{pn}$ , en fonction des réaménagements envisagés pour les échanges extérieurs. On examine aussi le potentiel de transformation du premier de ces parcs en le second, ainsi que l'éventualité d'une croissance concomitante du second et d'un parc de production d'énergie.

Les blocs nos 1, 3, 4, 5 sont invariants, avec les spécifications :

- variante de facteur 3 pour le "prix de l'énergie" ;
- variante sans impératif pour la "croissance standard" ;
- variante stricte pour les "contraintes techniques" ;
- variante d'équilibre pour les "contraintes financières".

Les deux dernières variantes du bloc "limitations d'échanges" sont d'abord croisées avec les spécifications de critère  $\text{croiss}(j_{ps})/\text{max}$ ,  $\text{croiss}(j_{pn})/\text{max}$  et  $\text{transf}/\text{max}$ , ce qui donne les déterminations :

- variante bridée,  $\text{croiss}(j_{ps})/\text{max}$  pour la détermination 2.5.1 (22121) ;
- variante bridée,  $\text{croiss}(j_{pn})/\text{max}$  pour la détermination 2.5.2 (22121) ;
- variante bridée,  $\text{transf}/\text{max}$  pour la détermination 2.5.3 (22121) ;
- variante aisée,  $\text{croiss}(j_{pn})/\text{max}$  pour la détermination 2.5.4 (23121) ;
- variante aisée,  $\text{transf}/\text{max}$  pour la détermination 2.5.5 (23121) ;

Les régimes fournis par ces déterminations confirment les indications données par les séries nos 3 et 4 : dépendance du potentiel de croissance vis-à-vis des limitations d'échanges et sensibilité de cette dépendance vis-à-vis du niveau des limitations, les contraintes techniques (2.2.8) n'intervenant pas ici.

On souligne que le potentiel de croissance des parcs d'habitat, qui peut être interprété en termes d'augmentation du niveau de vie [§ 3 ci-dessus ; Exposé no 1, points (e) et (f) du § 3, point (d) du § 5], est nettement plus faible que ceux des parcs stratégiques : moins de 3% par an dans la variante bridée (moins de 0.30 modules sur 11 ; déterminations 2.5.1 et 2.5.2) et moins de 6% dans la variante aisée (déterminations 2.5.4) contre 6 à 12% et 8 à 15% (déterminations 2.4.1 à 2.4.9). De même, le sous-emploi est plus faible (2.9 millions contre 3.7 ; déterminations 2.5.1, 2.5.2 et 2.4.1, 2.4.2) : on sait bien que la relance du bâtiment est un moyen de lutter contre le chômage !

On souligne aussi que le potentiel du parc standard  $j_{ps}$  est plus faible que celui du parc "nouveau"  $j_{pn}$ , ce qui est conformément aux hypothèses techniques faites à leur sujet [Exposé no 1, point (b) du § 5]. Enfin, la

transformation de l'un dans l'autre est beaucoup plus facile que les constructions (déterminations 2.5.3 et 2.5.5).

La série précédente est complétée par deux déterminations qui concernent la possibilité d'une croissance concomitante du parc  $j_{pn}$  et du parc "prod. energ. nouv." noté ci-après  $j_{en}$ . On considère pour cela la réalisation  $Res_0(D)$ , dérivée ([3], alinéa 7.c) de  $Res_0$  (§ 3), qui est obtenue en adjoignant aux contraintes de cette dernière la contrainte circonstancielle :

$$(2.5.1) \quad Xu(j_{pn}) \geq D,$$

où  $D$  représente un niveau minimum donné  $> 0$ . Les déterminations 2.5.6 et 2.5.7 correspondent alors à la spécification de critère  $croiss(j_{en})/\max$  appliquée à la réalisation  $Res_0(D)$  pour les valeurs  $D = 0.10$  et  $D = 0.20$  respectivement, la réalisation  $Res_0$  étant définie par les mêmes variantes que ci-dessus pour les blocs nos 1, 3, 4, 5 et par la variante bridée pour le bloc no 2 (indicatif 22121) ; on note que la seconde valeur,  $D = 0.20$ , est légèrement inférieure au maximum (0.24) de  $Xu(j_{pn})$  fourni par la détermination 2.5.2.

Cette procédure d'évaluation, concernant deux croissances concomitantes (l'une traitée en borne inférieure, l'autre en critère), est analogue à celle concernant la croissance du même parc  $j_{en}$  concomitante d'une croissance standard (détermination 2.4.5) : pour la valeur  $D = 0.10$ , i.e. pour une croissance du niveau de vie de l'ordre de 1%, le potentiel de croissance de ce parc (0.36 ; détermination 2.5.6) vaut cinq fois celui (0.07 ; détermination 2.4.5) correspondant au cas d'une croissance standard à 20% de la croissance de référence, laquelle ne stipule qu'une croissance du niveau de vie de 0.4%.

On remarque que cette procédure est biaisée, car elle ne tient pas compte des croissances induites sur les autres parcs : des études évolutives, de cheminements, sont nécessaires pour remédier à cette anomalie ; de telles études sont présentées dans les Exposés nos 3 et 4.

## § 6 - REDONDANCES IMPORTATIONS/EXPORTATIONS

La redondance importations/exportations est éliminée dans la réalisation  $Res_0$  (§ 2 et § 3) sous-jacente aux études précédentes (§ 4 et § 5) : on introduit et on teste numériquement ici une variante  $Res_1$  de  $Res_0$  qui prend en compte cette redondance.

La réalisation  $Res_1$  que l'on a en vue est définie comme  $Res_0$  (§ 2 et § 3), mais en remplaçant les contraintes (2.2.1) et (2.2.2) concernant les limitations d'échanges extérieurs par les contraintes (2.6.1) à (2.6.3) ci-après où, en plus des notations introduites au § 2,  $I_{exp^*}$  désigne l'ensemble des biens  $i \in I_{exp}$  tels que  $Xz(\underline{e}_i) > 0$  (biens nos 5, 7 et 9 à 13) :

$$(2.6.1) \quad \text{pour } i \in I_{exp^*}, \quad Xz(\underline{e}_i) - Xz(\underline{e}_i) \leq (1+c)[Xz(\underline{e}_i) - Xz(\underline{e}_i)] ;$$

$$(2.6.2) \quad \text{pour } i \in I_{exp^*}, \quad Xz(\underline{e}_i) = d_i[LCf(i, j_i)Xf(j_i) + Xz(\underline{e}_i) - Xz(\underline{e}_i)].$$

$$(2.6.3) \quad \text{pour } e \in E_{exp}, \quad Xz(e) \leq (1+c')Xz(e) ;$$

Dans ces relations  $c$ ,  $c'$  et  $d_i$  ( $i \in I_{exp^*}$ ) sont des données, des coefficients compris entre 0 et 1 :  $c$  et  $c'$  donnent lieu aux variantes du bloc "limitations d'échanges" (§ 3 et ci-après), tandis que  $d_i$  est défini par,

$$(2.6.4) \quad d_i = Xz(\underline{e}_i) / [LCf(i, j_i)Xf(j_i) + Xz(\underline{e}_i) - Xz(\underline{e}_i)] \quad (i \in I_{exp^*}).$$

Les contraintes (2.6.1) sont à rapprocher des contraintes (2.2.11) dont elles ne diffèrent que par ce que seuls y interviennent les biens  $i \in I_{exp+}$ . Ces contraintes remplacent les contraintes (2.2.1) : conformément à la discussion des liens entre (2.2.1) et (2.2.11) (§ 2), c'est ici la relation exacte (2.6.1) qui est mise pour stipuler les limitations d'échanges.

Les contraintes (2.6.2) introduisent la redondance importations/exportations voulue. Pour le montrer, on remarque d'abord que la quantité entre crochets au second membre représente la consommation locale nette (i.e. exportations exclues),  $Cons(i)$ , du bien  $i$  dans le régime considéré, cela au moins lorsque la contrainte  $xb(i)$  de conservation du bien  $i$  ([3], alinéa 5.a) est serrée : en effet cette contrainte s'écrit ici,

$$(2.6.5) \quad Cf(i, j_i)Xf(j_i) + Xz(\underline{e}_i) - Cons(i) - Xz(\underline{e}_i) \geq 0,$$

le terme  $Cf(i, j_i)Xf(j_i)$  représentant la production locale. Ainsi, lorsque  $xb(i)$  est serrée, (2.6.2) équivaut pour le bien  $i$  à,

$$(2.6.6) \quad Xz(\underline{e}_i) = d_i Cons(i),$$

relation qui exprime, compte tenu de la définition (2.6.4) de  $d_i$  [et de ce que les contraintes  $xb(i)$  ( $i \in I_{exp}$ ) sont serrées dans le régime de référence ; Exposé 1, § 3, TABLEAU 1.6], que le rapport importation/consommation est le même que pour le régime de référence. Plus généralement, les coefficients  $d_i$  ( $i \in I_{exp+}$ ) mesurent, pour les divers biens, les taux de dépendance locale vis-à-vis des importations. Les contraintes (2.6.2) sont ainsi à rapprocher de celles faisant intervenir les fonctions d'importation utilisées dans les modèles macroéconomiques empiriques ([1], 1ère partie, chap. 3, alinéa 3.A ; [2], chap. 2, alinéa 3.1, chap. 4, alinéa 2.4.a ; [4], chap. 6, alinéa 1.3).

On souligne que l'interprétation précédente du coefficients  $d_i$  est à revoir si la contrainte  $xb(i)$  n'est pas serrée : la relation (2.6.6) se réduit alors à,

$$(2.6.7) \quad Xz(\underline{e}_i) \geq d_i Cons(i),$$

et le coefficient  $d_i$  représente seulement une borne inférieure du taux de dépendance. En fait, les contraintes  $xb(i)$  ( $i \in I_{exp}$ ) sont serrées dans toutes les déterminations présentées ci-après.

On souligne aussi que les contraintes (2.6.2) remplacent ici les contraintes (2.2.2), en particulier pour les biens  $i \in I_{exp-}$ .

En ce qui concerne les contraintes (2.6.3), il faut distinguer le cas des biens  $i \in I_{exp-}$  et celui des biens  $i \in I_{exp+}$ .

Pour les biens  $i \in I_{exp-}$ , ce sont les contraintes (2.6.3) qui expriment les limitations d'échanges, puisque les contraintes (2.6.1) ne sont pas alors concernées. Par contre, pour les biens  $i \in I_{exp+}$ , les contraintes (2.6.3) font double emploi avec les contraintes (2.6.1) ; elles sont introduites pour comparer les deux formulations des limitations d'échanges : celle bornant les différences "niveau d'exportation - niveau d'importation" [relations (2.2.1), (2.2.11), (2.6.1)] et celle bornant les échanges eux mêmes [relations (2.2.2) et (2.6.3)].

On va montrer numériquement ci-après que la première formulation est à la fois plus restrictive et plus maniable que la seconde, ce résultat étant à rapprocher de ce que, liant importations et exportations, cette formulation prend mieux en compte leur interdépendance dans la situation de concurrence du marché extérieur [point (b) du § 1].



Dans ce sens, la série no 6 a pour but d'étudier l'influence de la substitution des contraintes (2.6.1) à (2.6.3) aux contraintes (2.2.1) et (2.2.2), i.e. de comparer les réalisations Res1 et Res0. Pour cela, les déterminations 2.6.1 à 2.6.7 reprennent, pour la réalisation Res1, respectivement les déterminations 2.1.1, 2.1.2, 2.3.1, 2.4.1, 2.4.2, 2.5.2, 2.5.3.

Dans cette série, les variantes relatives aux blocs 1, 3, 4, 5 (§ 3), sont inchangées comme les contraintes correspondantes, tandis que les variantes relatives au bloc "limitations d'échanges" (no 2) sont redéfinies comme suit, via la spécification des coefficients  $c$  et  $c'$ , le vocable "c très grand" signifiant que les contraintes (2.6.1) sont omises : variante de référence,  $c$  très grand et  $c' = 0$  ; variante bridée,  $c = c' = 0.30$  ; variante aisée,  $c$  très grand et  $c' = 0.30$ . Ainsi, chaque spécification de la réalisation Res1 est encore définie par un indicatif à cinq chiffres, la signification du second étant modifiée comme ci-dessus.

Les déterminations 2.6.1 et 2.6.2, qui sont parallèles aux déterminations 2.1.1 et 2.1.2, concernent le régime de référence (indicatif 11421) : les régimes fournis par ces déterminations sont cette fois très proches de ce dernier, y compris en ce qui concerne les niveaux d'échanges [conformes aux contraintes (2.6.2)], l'écart résiduel provenant du niveau de fonctionnement de l'activité "prod. energ. std." que rien n'empêche ici d'atteindre la borne supérieure qu'est le niveau fixé du parc. Ces résultats montrent que les contraintes (2.6.2) jouent convenablement le rôle qui leur est imparti. On souligne qu'ils sont obtenus via les contraintes (2.6.3) et non via les contraintes (2.6.1) qui sont ici omises.

Les déterminations 2.6.3 à 2.6.7 concernent toutes le même indicatif 22121, en particulier la variante bridée du bloc "limitations d'échanges", mais avec diverses spécifications de critère relatifs à la croissance (standard ou différenciée). Les régimes fournis par ces déterminations sont voisins de ceux fournis par les déterminations 2.3.1, 2.4.1, 2.4.2, 2.6.2, 2.6.3 respectivement pour ce qui est des niveaux d'activités et de transformations, mais chaque fois un peu moins favorables pour ce qui est de l'optimum, le biais résultant des consommations inhérentes aux importations introduites par les contraintes (2.6.2). Cette proximité confirme aussi le rapprochement des contraintes (2.2.1) et (2.6.1) déjà discuté ci-dessus.

On souligne de plus que, pour les biens  $i \in I_{exp+}$  concernés, ce sont ces contraintes (2.6.1) qui sont serrées et non les contraintes (2.6.3), lesquelles donnent lieu à des écarts importants. Ce caractère moins limitatif des contraintes (2.6.3) (pour la même valeur  $c = c' = 0.30$ ) est confirmé par les déterminations 2.6.8 et 2.6.9 qui correspondent aux mêmes spécifications que les déterminations 2.6.3 et 2.6.5 mais pour la variante aisée au lieu de la variante bridée relative au bloc "limitations d'échanges" (indicatif 23121) : on voit que les régimes fournis par les premières sont beaucoup moins limités, plus favorables que ceux fournis par les secondes. En particulier, le régime fourni par la détermination 2.6.9 est à comparer à celui fourni par la détermination 2.4.8 correspondant au même critère mais à un impératif de croissance plus fort (indicatif 23321 au lieu de 23121) : c'est ici aussi la contrainte technique (2.2.8) relative au bien "equip. base" qui est serrée et cela avec la même valeur duale.

En fonction des indications fournies par cette série, on retiendra la représentation des limitations d'échanges de la réalisation Res1 pour les études de scénarios présentés dans l'exposé no 4.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] M.AGLIETTA, R.COURBIS, C.SEIBEL - Le modèle FIFI - Tome I, présentation générale - INSEE, série C, 22, 1973.
- [2] R.COURBIS - Compétitivité et croissance en économie concurrencée - Tome 1, Dunod, 1975.
- [3] P.COURREGE - ATHEMA : modèle macroéconomique pour la prospective libre - Fascicule multigraphié, 1985.
- [4] D.FOUQUET, J.M.CHARPIN, H.GUILLAUME, P.A.MUET, D.VALLET - DMS, modèle dynamique multisectoriel - INSEE, série C, 64-65, 1978.
- [5] INSEE - Rapport sur les comptes de la nation, 1976 - Série C, 52-53, 1977.

§ 1 - INTRODUCTION

On se propose dans cet exposé d'étudier comment, dans un processus de croissance équilibrée au voisinage du régime de référence, la croissance des consommations finales de la population conditionne la croissance de l'ensemble des activités productives. A propos du concept, central dans la théorie économique, de "croissance équilibrée" on fait référence ici, principalement au modèle de Von Neuman ([7]) et à ses divers développements (par exemple [5] et [6]), mais aussi aux régimes quasi-stationnaires des modèles macroéconomiques (par exemple [2] et [4]).

Conformément à la visée illustrative de la micro-maquette (Exposé no 1, § 1), cette étude a d'abord pour but d'indiquer comment le cadre formel du modèle ATHEMA ([1]) permet de représenter un processus de croissance équilibrée au moyen d'une réalisation évolutive à deux périodes. En outre, dans le cadre de cet objectif illustratif du modèle, le choix du thème vise à obtenir une réponse à la question suivante : dans quelle mesure est-ce que, au voisinage du régime de référence, la croissance des consommations finales de la population suffit à expliquer la (forte) croissance de l'ensemble du système productif qui caractérise ce régime ?

La réponse obtenue (§ 3), qui est évidemment à nuancer en fonction des limitations inhérentes à la micro-maquette (Exposé no 1, § 1), est clairement négative. Elle va ainsi dans le sens de la thèse de GALBRAITH ([3]) selon laquelle le système productif comporte sa propre logique de croissance, au delà de celle des consommations finales de la population. Plus précisément, dans le même environnement extérieur que le régime de référence :

- d'une part la croissance de référence des consommations finales de la population (un peu plus de 2 pour cent par an) n'induit, pour les diverses activités productives, que des croissances du même ordre de grandeur, alors que les croissances de référence sont entre 5 et 7 pour cent ;
- d'autre part la croissance maximum des consommations finales, qui est de 3.9 pour cent, n'induit, pour les diverses activités productives, que des croissances situées entre 3 et 4 pour cent, encore nettement inférieures aux croissances de référence.

Ces indications sont obtenues au moyen des déterminations 3.1 à 3.4 dont la logique est présentée au § 3 et dont les résultats figurent dans le fascicule annexe. Au préalable, on décrit et analyse (§ 2) comment sont constitués les jeux de données correspondants du point de vue des contraintes circonstancielles et spéciales.

Au delà de la visée illustrative, cette analyse préalable fait partie des précautions méthodologiques que réclame l'interprétation des résultats en termes "réalistes" : cette interprétation n'est acceptable que si elle est assortie de la discipline qui consiste à ne considérer les résultats qu'en les situant, au delà de leur apparence réaliste, par rapport à l'ensemble des hypothèses sous-jacentes au jeu de données correspondant à leur détermination ([1], alinéa 1.d).

La mise en application de cette discipline est particulièrement nécessaire, quoique sans doute plus facile, dans le cas du présent exercice, car les cheminement à deux périodes constituant les résultats sont seulement des instruments d'évaluation et non des scénarios susceptibles de représenter une évolution réelle.

## § 2 - JEU DE DONNEES

L'appareil nominatif (le système de nomenclatures) correspond à un cas évolutif pour la micro-maquette : le descriptif fondamental ([1], alinéa 2.c) est obtenu en complétant le descriptif primaire de la micro-maquette (Exposé no 1, § 2) par une nomenclature de périodes  $T = [t_0, t_1]$  comportant deux périodes élémentaires ( $t_0 = 1$  et  $t_1 = 2$ ), chacune d'une durée de un an. Ce descriptif est consolidé ([1], alinéa 8.e) ; l'unique secteur intérieur est désigné par  $s_n$ .

Conformément au propos, qui est d'étudier une croissance équilibrée, les deux périodes représentent deux périodes élémentaires consécutives dans un processus d'évolution supposé régulier ("équilibré", en un sens précisé ci-dessous), la seconde période étant mise pour permettre d'exprimer le caractère équilibré de l'évolution en question.

Le jeu de données techniques est le jeu de référence (Exposé no 1, § 5).

Les dotations et prélèvements aux deux périodes sont ceux du régime de référence : dotation de sol végétal (bien no 1) et prélèvement de service administratif (bien no 13), représentant respectivement la superficie de sol végétal disponible et les consommations finales de défense [Exposé no 1, points (a) et (i) du § 3].

Les prix  $Pr(e)$  ( $e \in E$ ), qui sont tous des prix extérieurs ([3], alinéa 3.b) puisque le descriptif est consolidé, sont ceux du régime de référence [Exposé no 1, point (k) du § 3].

En ce qui concerne les contraintes supplémentaires (circonstanciennes et spéciales), on distingue deux types parmi celles qui sont spécifique du jeu de données en cause :

(a) les contraintes, dites de régularité, qui expriment le caractère équilibré de la croissance, en ce sens que le passage de la première à la seconde période ne comporte pas de modifications structurelles notables tant du système productif que des échanges extérieurs ; ces contraintes relient essentiellement les deux périodes, cela en termes suffisamment génériques, en particulier sans faire intervenir de données absolues relatives aux divers niveaux concernés ;

(b) les contraintes, dites de calage, qui expriment la proximité par rapport au régime de référence, cela au moins par le niveau de la population à la période initiale, ainsi que par des niveaux maximum pour les parcs, leurs taux d'occupation et les échanges extérieurs ; les contraintes correspondantes introduisent essentiellement les niveaux absolus nécessaires.

Les notations employées ci-après pour expliciter ces contraintes sont celles du texte théorique [1] (§ 3 et § 4), avec la simplification consistant en ce que la mention de l'unique secteur intérieur est omise : par exemple,  $Xu(t, h)$  désigne le niveau de la variable de type  $Xu$  pour la période  $t$  et la transformation  $h$ , etc.

Les contraintes de régularité sont les suivantes :

$$(3.2.1) \quad \text{pour } j \in J, \quad Xu(2, h_j) \geq (1+a)Xu(1, h_j) ;$$

$$(3.2.2) \quad \text{pour } j \in J, \quad Xu(1, \underline{h}_j) = 0 \quad \text{et} \quad Xu(2, \underline{h}_j) = 0 ;$$

$$(3.2.3) \quad \text{pour } j \in J, \quad Xp(1, j) \geq (1/b_j)Xf(1, j) ;$$

(3.2.4) pour  $j \in J$ ,  $X_p(2,j) - X_f(2,j) \geq X_p(1,j) - X_f(1,j)$  ;

(3.2.5) pour  $e \in E_{exp}$ ,  $X_z(2,e) \geq (1+a')X_z(1,e)$  ;

(3.2.6) pour  $e \in E_{imp}$ ,  $X_z(2,e) = 0$  ;

(3.2.7) pour  $i \in I_*$ ,  $Y_b(1,i) + A'(t,i) - A''(t,i) = 0$ .

Dans ces relations, on désigne : par  $h_j$  [resp.  $\underline{h}_j$ ] l'élément  $(j_0, j)$  [resp.  $(j, j_0)$ ] de  $H$  qui représente la construction [resp. le démantèlement] du parc  $j \in J$  ; par  $E_{exp}$  (resp.  $E_{imp}$ ) le sous-ensemble de  $E$  constitué des exportations (resp. des importations de biens donnant aussi lieu à exportation) ; par  $I_*$  le sous-ensemble de  $I$  constitué des biens autres que les ressources locales que sont les biens "sol veget." et "travail" (nos 1 et 16).

Par ailleurs,  $a$ ,  $a'$  et  $b_j$  ( $j \in J$ ) sont des données  $\geq 0$  :  $a$  et  $a'$  représentent des taux de croissance, tandis que  $b_j$  représente un taux d'utilisation du parc  $j$ , en l'occurrence celui du régime de référence [i.e.  $b_j = X_f(j)/X_p(j)$  pour les niveaux  $X_f(j)$  et  $X_p(j)$  de ce régime].

Les contraintes (3.2.1) expriment que les niveaux des constructions relatives aux divers parcs ne peuvent que croître, avec un taux de croissance  $a$ , de la période 1 à la période 2 ; ce taux de croissance est pris égal à 5 pour cent, i.e.  $a = 0.05$ .

Les contraintes (3.2.2) excluent les démantèlements aux deux périodes.

Les contraintes (3.2.3) expriment que les taux d'occupation des parcs pendant la période 1 ne peuvent pas dépasser ceux du régime de référence ; tandis que les contraintes (3.2.4) expriment (de façon linéarisée) que les taux d'occupation des parcs ne peuvent que croître de la période 1 à la période 2.

Les contraintes (3.2.5) expriment que les niveaux des exportations ne peuvent que croître, avec un taux de croissance  $a'$ , de la période 1 à la période 2 ; ce taux de croissance minimum  $a'$  est pris égal à zéro.

Les contraintes (3.2.6) expriment que, au moins à la période 2, les redondances importations/exportations (exposé no 2, § 2 et § 6) sont exclues. Cette contrainte est à rapprocher de ce que les contraintes de contrôle des redondances importations/exportations (exposé no 2, § 6) ne sont pas introduites dans les réalisations considérées : vu le caractère analytique plus que représentatif des déterminations que l'on a en vue ici (§ 1 ci-dessus), l'introduction de ces dernières contraintes, qui n'interviennent qu'au second ordre (exposé no 2, § 6), compliquerait inutilement l'appareil formel.

Enfin, les contraintes (3.2.7), en excluant les excédents (hormis ceux des ressources) ce qui "serre" le système, contribuent indirectement, conjointement avec les contraintes (3.2.2) et (3.2.6), à éviter que les niveaux de fonctionnement, donc aussi des parcs, ne soient pendant la période 1 supérieurs à ceux requis par les contraintes fondamentales d'équilibre physique (contraintes de type  $x_b$ ), ce qui fausserait l'ensemble de la détermination en entraînant une sous-évaluation des constructions nécessaires.

Les contraintes de calage sont les suivantes :

(3.2.8)  $X_f(1, j_p) = \underline{X}_f(j_p)$  ;

(3.2.9) pour  $j \in J$ ,  $X_p(1, j) \leq \underline{X}_p(j)$  ;

(3.2.10) pour  $e \in E_{exp}$ ,  $X_z(1, e) \leq \underline{Y}_z(e)$  ;

(3.2.11) pour  $e \in E_{exp}$ ,  $X_z(2, e) \leq (1+a)\underline{Y}_z(e)$ .

Dans ces relations, d'une part  $j_p$  désigne l'activité "entret. pop. std." (no 14), d'autre part  $a$ ,  $X_f(j_p)$ ,  $X_p(j)$  ( $j \in J$ ) et  $Y_z(e)$  ( $e \in E_{exp}$ ) sont des données  $\geq 0$  :  $a$  désigne le même taux de croissance que dans la contrainte (3.2.1) ;  $X_f(j)$  et  $X_p(j)$  désignent respectivement le niveau de fonctionnement et le niveau du parc de l'activité  $j$  dans le régime de référence ;  $Y_z(e)$  désigne, pour le bien intervenant dans l'échange  $e$  et dans le régime de référence, la différence "niveau d'exportation moins niveau d'importation" si cette quantité est  $> 0$  et zéro sinon (cas des biens "machines 2" et "serv. adm.").

La contrainte (3.2.8) fixe le niveau de la population à la période 1 au niveau du régime de référence, tandis que les contraintes (3.2.9) bornent supérieurement les niveaux des parcs par les niveaux de référence ; en particulier, ces dernières contraintes excluent les activités nouvelles ("prod. energ. nouv.", "prod. machines 2", "entret. pop. nouv." ; nos 2, 6, 15), activités qui sont à zéro dans le régime de référence.

Les contraintes (3.2.10) et (3.2.11) stipulent, pour les exportations, des limitations (des bornes supérieures) qui sont fournies, à la période 1, par les niveaux correspondants dans le régime de référence et accrues, à la période 2, selon le taux de croissance standard  $a$ . Ce sont les différences "exportations moins importations" du régime de référence [quantités  $Y_z(e)$ ] qui interviennent ici, puisque les redondances importations/exportations sont exclues [contraintes (3.2.6)].

En plus des contraintes supplémentaires de régularité et de calage précédemment introduites, le jeu de données comporte des contraintes financières, contraintes circonstanciées qui expriment l'équilibre financier : aux deux périodes, pas d'encours d'emprunts (donc pas de dépenses pour remboursement), pas d'encours de prêts (donc pas de recettes par recouvrement), pas d'emprunts.

On désigne par  $Res_0$  la réalisation ([1], alinéa 7.c) définie par le jeu de données ainsi spécifié. Cette réalisation représente la situation de croissance équilibrée que l'on se propose d'analyser.

### § 3 - DETERMINATIONS

Quoique son extension soit très restreinte par les contraintes de régularité et de calage, la réalisation  $Res_0$  reste largement sous-déterminée ([1], alinéa 7.c), en particulier en ce qui concerne le taux de croissance de la population.

Plus précisément, les niveaux  $X_f(2, j_p)$  et  $X_p(2, j_p)$ , de la population et du parc correspondant pendant la période 2, sont endogènes, ce qui engendre une sous-détermination que l'on va appréhender par une analyse multicritère ([1], alinéa 9.a).

Dans ce sens, on va utiliser les trois critères suivants :

$$(3.2.12) \quad C_1(X) = X_f(2, j_p),$$

$$(3.2.13) \quad C_2(X) = X_p(2, j_p) - X_f(2, j_p),$$

$$(3.2.14) \quad C_3(X) = D_p(1, f_p) + D_p(2, f_p),$$

où  $f_p$  désigne le poste "(prêts,  $s_p$ )" de la nomenclature  $F_p$  d'imputations en créances ([1], alinéas 2.b et 4.d).

La spécification de critère "max  $C_1(X)$ " correspond à la maximisation de la population à la période 2 ; on désigne par pop/max cette spécification.

En vertu de ce que le quotient  $X_p(2, j_p)/X_f(2, j_p)$  fournit une mesure du niveau de vie de la population [Exposé no 1, points (e) et (f) du § 3, point (d) du § 5], la spécification de critère "max  $C_2(X)$ " correspond à la maximisation du niveau de vie à la période 2 ; on désigne par parc/max cette spécification.

En vertu des contraintes d'équilibre dépenses-recettes pour le secteur intérieur (contraintes de type  $q_0$  ; [1], alinéa 5.c) et des contraintes financières excluant emprunts et prêts, on a aussi,

$$(3.2.15) \quad C_3(X) = Z_n(1) + Z_n(2) ;$$

autrement dit ([1], alinéa 4.d),  $C_3(X)$  représente le solde total (la marge totale) des échanges extérieurs pendant les deux périodes ; la spécification de critère "max  $C_3(X)$ " correspond donc à la maximisation de la marge totale d'échanges extérieurs ; on désigne par marge/max cette spécification.

La spécification de critère pop/max peut être appliquée directement à la réalisation  $Res_0$ , ce qui donne la détermination 3.1, par résolution du problème d'optimisation standard ([1], alinéa 7.d).

Par contre, les spécifications de critères parc/max et marge/max réclament une contrainte supplémentaire empêchant le niveau de la population de baisser entre la période 1 et la période 2. On prend la contrainte circonstancielle consistant à borner inférieurement la variable  $X_f(2, j_p)$  sous la forme,

$$(3.2.16) \quad X_f(2, j_p) \geq (1+a_p)\underline{X}_f(j_p).$$

Dans cette relation,  $a_p$  est, compte tenu de la cotrainte (3.2.8), un taux de croissance donné qui doit vérifier,

$$(3.2.17) \quad a_p \leq \underline{a}_p,$$

en définissant  $\underline{a}_p$  par la relation,

$$(3.2.18) \quad (1+a_p)\underline{X}_f(j_p) = \underline{X}_f(2, j_p).$$

où  $\underline{X}_f(2, j_p)$  désigne la valeur maximum de la variable  $X_f(2, j_p)$  (fournie par la détermination 3.1). La valeur ainsi obtenue pour  $\underline{a}_p$  est de 0.039 (exactement 0.03907), soit un taux de croissance max de la population de 0.39 pour cent.

On désigne par  $Res_0(a_p)$  la réalisation dérivée de la réalisation  $Res_0$  ([1], alinéa 7.c) en adjoignant (3.2.16) aux contraintes de  $Res_0$ . Les spécifications de critères parc/max et marge/max peuvent alors être appliquées aux réalisations  $Res_0(a_p)$  pour diverses valeurs du taux  $a_p$ .

Les déterminations 3.2 et 3.3 correspondent à la spécification de critère marge/max. Avec cette spécification, le niveau de vie varie peu, les contraintes (3.2.4) restant serrées.

Dans la détermination 3.2, le taux  $a_p$  est pris égal à 0.022, valeur qui correspond au taux de croissance du parc  $j_p$  dans le régime de référence.

Dans la détermination 3.3, le taux  $a_p$  est pris égal à 0.038, soit un peu inférieur à la valeur maximum  $\underline{a}_p = 0.03907$ . Le cheminement correspondant est peu différent de celui de la détermination 3.1, ce qui indique que la réalisation  $Res_0(a_p)$  est proche d'être catégorique (i.e. peu sous-déterminée ; [1], alinéa 7.c) pour  $a_p$  voisin de son maximum.

L'examen des résultats des déterminations 3.1 à 3.3 permet de vérifier et

de préciser les indications données au § 1, en les situant (conformément à la discipline réclamée) de façon précise dans le contexte des hypothèses faites pour définir la croissance équilibrée, hypothèses que formalise la réalisation Res0. On souligne que les croissances des divers parcs apparaissent, dans le cadre de ces hypothèses, uniquement comme conséquence de celle de la population, i.e. sans conditions leurs imposant des niveaux à priori.

La détermination 3.4 correspond enfin à la spécification de critère parc/max, avec cette fois un taux  $a_p$  égal à zéro, ce qui stipule, compte tenu de ce que la contrainte (3.2.16) est serrée, que le niveau de la population ne varie pas de la période 1 à la période 2. La valeur maximum du niveau de vie,  $X_p(2, j_p)/X_f(2, j_p)$  à la période 2 est alors de 1.16, alors qu'il n'est que de 1.10 à la période 1 comme dans le régime de référence.

Les contraintes de régularité (3.2.1) à (3.2.7) constituent une expression formelle, dans le cadre du descriptif à deux périodes en cause, du caractère équilibré de la croissance énoncé de façon informelle au point (a) du § 2. Cette expression formelle n'est évidemment pas la seule possible. Les remarques (a) et (b) ci-après complètent, en termes de déterminations, les justifications déjà données au § 2 en termes de contraintes.

(a) Le système complet de contraintes de régularité qui est présenté n'a été obtenu que progressivement, en ajoutant ces contraintes [sauf celles exprimées par (3.2.3) qui pourraient aussi être classées parmi les contraintes de calage, lesquelles sont moins problématiques] les unes après les autres. Ces tâtonnements ont montré "expérimentalement" que toutes les contraintes de régularité sont nécessaires, en ce sens que la suppression de l'une quelconque d'entre elles fournit, par exemple avec la spécification de critère pop/max, un cheminement qui présente une anomalie manifeste.

Pour ne citer à ce sujet qu'un exemples important, la suppression des contraintes (3.2.2) ou (3.2.7), ou encore (mais moins nettement) des contraintes (3.2.5) ou (3.2.6), entraîne que les niveaux des constructions  $X_u(1, h_j)$  sont nuls ou très petits pour plusieurs parcs  $j \in J$  : ainsi que cela a déjà été signalé dans l'interprétation des contraintes (3.2.7), les variables  $X_f(1, j)$  et  $X_p(1, j)$  correspondant à ces parcs sont alors à un niveau supérieur à celui requis par les contraintes fondamentales d'équilibre physique. La détermination 3.5, qui correspond à la spécification pop/max en omettant les contraintes (3.2.2), (3.2.5), (3.2.6) et (3.2.7), illustre ce fait. Son explication en fonction des spécificités du jeu de coefficients techniques permettrait de dégager des particularités de ce jeu susceptibles d'être utiles.

Plus généralement, élucider formellement ce caractère nécessaire des diverses contraintes de régularité fournirait un approche formelle de la relation, qui est montrée ici numériquement plus que justifiée, entre la croissance de la population et celle des activités productrices.

(b) Un autre approche consisterait à étudier, de façon plus complète qu'on ne l'a fait ici, l'extension de Res0 et des réalisations dérivées  $Res0(a_p)$ , cela par exemple via des analyses multicritères utilisant d'autres critères que  $C_1, C_2, C_3$ . Dans ce sens, il serait intéressant de préciser la question suivante et d'y répondre : existe t'il d'autres "sources essentielles" de sous-détermination de la réalisation Res0 que le caractère endogène des variables  $X_f(2, j_p)$  et  $X_p(2, j_p)$  ? Si oui, lesquelles ?

Enfin, la représentation de la croissance équilibrée introduite ici (essentiellement via les contraintes de régularité ; § 2), serait à comparer aux représentations usuelles, par exemple à celles intervenant dans les références [5], [6], [2], [4].



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] P.COURREGE - ATHEMA : modèle macroéconomique pour la prospective libre - Fascicule multigraphié, 1985.
- [2] M.DELEAU, P.MALGRANGE, P.A.MUET - Une maquette représentative des modèles macroéconomiques - Annales de l'INSEE, 42, 1981, pp. 53-91.
- [3] J.K.GALBRAITH - Le nouvel état industriel - 3<sup>e</sup> édition, Gallimard, 1979.
- [4] J.P.LAFFARGUE - Les modèles macrodynamiques de politique économique : dialogue entre le théoricien et l'économètre - Annales de l'INSEE, 40, 1980, pp. 33-64.
- [5] M.MORISHIMA - Equilibrium, Stability and Growth ; a Multi-sectoral Analysis - Clarendon press, Oxford, 1964.
- [6] M.MORISHIMA - The Theory of Economic Growth - Clarendon press, Oxford, 1969.
- [7] J.Von NEUMAN - A model of general equilibrium - Review of economic studies, XIII (I), 1945-46, pp. 1-9.



§ 1 - INTRODUCTION

L'objet principal de cet exposé est de présenter, dans le cadre de la micro-maquette (Exposé no 1), une évaluation de la possibilité macroéconomique du développement à long terme, par exemple sur une période de 30 ans à compter de 1974, d'un système d'approvisionnement énergétique de la France susceptible d'assurer au pays une autonomie énergétique complète en faisant principalement appel au potentiel local des énergies renouvelables.

Le propos de l'exercice est macroéconomique et non technique, en ce sens que les caractéristiques techniques du système envisagé sont seulement représentées par les coefficients techniques des activités "prod. energ. nouv." et "entret. pop. nouv." qui ont été introduits (du reste à cette fin) dans la micro-maquette [Exposé no 1, point (b) du § 1, seconde étape du § 5].

En fait, cet exercice constitue un complément macroéconomique au travail d'évaluation technique présenté dans le PROJET ALTER ([5]). On trouve dans ce dernier : d'abord (Chap. III) un catalogue de filières de conversion des énergies renouvelables (essentiellement l'énergie solaire sous toutes ses formes) qui pourraient être disponible à long terme ; puis (Chap.V) la présentation d'un système d'approvisionnement énergétique de la France basé sur les filières précédemment décrites et sur un évaluation des besoins énergétique du pays (Chap. IV), dans la perspective à long terme d'une économie post-industrielle stabilisée (Chap. I, alinéas I.2.c et I.3.b).

La présentation figurant dans le PROJET ALTER se situe à un niveau assez rudimentaire d'évaluations économiques, en ce sens que le couplage du système énergétique avec le reste de l'économie, en particulier les échanges inter-industriels ou extérieurs du pays ne sont pas étudiés avec un modèle élaboré ([5], alinéa I.2.e) : on cherche ici à combler cette lacune dans le cadre macroéconomique de la micro-maquette.

Toutefois, dans ce cadre très agrégé, c'est l'aspect technique qui va être rudimentaire : n'ayant pas les moyens de traiter l'ensemble de l'économie au niveau d'une réalisation techniquement "sérieuse" du modèle (par exemple avec des nomenclatures de biens et d'activités d'une centaine de postes ; Exposé no 1, début du § 4 et fin du § 5), on traite aussi le système énergétique de façon très agrégée, cela afin de conserver la souplesse, la liberté exploratoire, que permettent les réalisations du modèle ATHEMA basées sur des nomenclatures techniques homogènes au point de vue niveau d'agrégation.

On justifie ce parti en remarquant que les modèles spécialisés sur le système énergétique, i.e. ([1], alinéa 8.b) dans lesquels ce dernier est plus détaillé et seul traité en termes physiques, manquent de la souplesse requise pour la prospective libre : cela résulte de ce que, sauf à tolérer des distorsions gênantes, la souplesse de l'ensemble est grévée par la rigidité "économétrique" de la partie agrégée. Il en résulte que ces modèles, soit sont limités à des études d'extrapolation tendancielle ([7], [6]), soit donnent des évaluations étriquées (i.e. restreignant exagérément l'éventail des possibles) s'ils sont utilisés pour des projections ([2], [4]).

A propos de la liberté exploratoire requise ([1], alinéa 1.a), on souligne que cet exposé, au même titre que tous ceux concernant la micro-maquette (Exposé no 1, § 1), a une visée illustrative des possibilités du modèle au niveau methodologique de la démarche de prospective libre basée sur un modèle quantitatif, non une visée opérationnelle au niveau politique de la concertation ou de l'aide à la décision.

Cependant, cette visée illustrative n'est évidemment pas incompatible avec le choix d'un thème ayant une signification politique, ici l'autonomie éner-

gétique de la France. Au demeurant, ce thème est traité de façon a-historique et partiellement rétrospective, puisque les cheminements envisagés, concernant le développement des énergies renouvelables, partent de l'année 1974, alors que ce texte est écrit en 1985 et que la politique énergétique de la France depuis 1974 a été essentiellement basée sur le développement de l'énergie nucléaire.

Ces précautions méthodologiques étant prises, on n'y reviendra pas dans la suite et les résultats obtenus seront, aussi à titre illustratif, commentés, interprétés en termes "réalistes", comme s'ils concernaient une réalisation "sérieuse" du modèle, une réalisation à visée opérationnelle.

Cela étant, une exigence fondamentale de la démarche prospective mise en oeuvre ici, dans le cadre formel du modèle ATHEMA, réside en ce que l'interprétation en termes "réalistes" des résultats n'est acceptable que si elle est située par rapport à l'ensemble des hypothèses sous-jacentes aux jeux de données correspondants, c'est à dire assortie d'une présentation détaillée de ces derniers : le formalisme du modèle a été précisément mis en place dans ce but ([1], alinéa 1.d, § 6 à 8). Cette exigence générale, quel que soit le niveau d'agrégation de la réalisation en cause, est spécialement importante pour les réalisations très agrégées de la micro-maquette, vu le rôle important qu'y jouent les contraintes supplémentaires ([1], alinéa 1.b et § 6) devant pallier la faiblesse des nomenclatures de base.

Dans ce sens, les jeux de données concernés sont présentés ci-dessous en détail, cela en faisant systématiquement usage de l'appareil formel introduit dans [1], conformément à la visée illustrative de l'exposé. Cette présentation détaillée du cadre des déterminations doit permettre au lecteur d'appréhender les résultats en examinant les sorties d'ordinateur "en clair" qui figurent dans le fascicule annexe. De brefs commentaires sont aussi donnés dans le texte ; mais ces commentaires sont destinés à faciliter l'examen détaillé des résultats fournis et non à le remplacer : conformément à l'exigence méthodologique énoncée ci-dessus, l'exposé n'est pas fait pour qu'il soit possible d'en extraire rapidement un aperçu à visée opérationnelle.

Le plan de l'exposé est le suivant : les § 2 et 3 introduisent le cadre général, multipériode, des études envisagées (jeu de données techniques, contraintes d'échanges extérieurs, population, niveau de vie, etc) ; le § 4 contient l'étude introductive, pouvant servir de point de comparaison pour les études suivantes, d'un cheminement sur 30 ans (6 périodes de 5 ans) sans possibilité de développement des énergies renouvelables ; les § 5 et 6 présentent le scénario de développement des énergies renouvelables, scénario conduisant en 25 ans (5 périodes de 5 ans) à une situation d'autonomie du type de celle du PROJET ALTER ; on utilise, pour construire ce scénario, l'approche globale avec décomposition ([1], alinéa 12.d), l'étude du système final, à long terme (§ 5), précédant celle de la transition (§ 6). Les § 5 et 6 peuvent être abordés indépendamment du § 4.

## § 2 - CADRE GENERAL : DONNÉES TECHNIQUES DE BASE

Les déterminations de cheminements présentées aux § 4 et 6 sont relatives à un même cadre général qui est spécifié ci-après et au § 3, cette mise en place aboutissant, à la fin de ce dernier paragraphe, à la définition d'une réalisation évolutive Res0 dont sont dérivées les réalisations donnant lieu aux déterminations citées. On commence par spécifier ici l'appareil nominatif et le jeu de données techniques en cause, en particulier les coefficients de transformations qui ne sont pas canoniques.

L'appareil nominatif (le système de nomenclatures ; [1], § 2) correspond au cas évolutif pour la la micro-maquette : le descriptif fondamental ([1], alinéa 2.c) est obtenu en complétant le descriptif primaire de la micro-maquette

(Exposé no 1, § 2) par une nomenclature de périodes  $T = [t_0, t_1]$  comportant six périodes élémentaires, chacune d'une durée de  $n = 5$  ans. La période initiale  $t_0$ , avec  $t_0 = 1$ , couvre les années 1974-1978, i.e. commence à l'année suivant l'année de référence. Le descriptif est consolidé ([1], alinéa 8.e), l'unique secteur intérieur étant désigné par  $s_n$ .

Le jeu de données techniques va être déduit du jeu de référence (Exposé no 1, § 5), lequel correspond au cas statique avec une période élémentaire de un an. On désigne ici par  $C_f, C_p, C_u, C_z$ , les (types de) coefficients techniques ([1], alinéa 4.b) de ce jeu et par  $C_f, C_p, C_u, C_z, M_p, M_1, M_2$ , ceux à spécifier.

Les coefficients techniques de types  $C_f, C_p, C_z$ , sont d'abord fournis par les relations :

$$(4.2.1) \quad C_f(i,j) = nC_f(i,j) \quad \text{et} \quad C_p(i,j) = nC_p(i,j) \quad \text{pour } i \in I, j \in J;$$

$$(4.2.2) \quad C_z(s_n, i, e) = C_z(s_n, i, e) \quad \text{pour } i \in I, e \in E.$$

La relation (4.2.1) exprime l'homogénéité dans le temps des consommations modulaires de fonctionnement et de maintenance, les coefficients techniques de types  $C_f$  et  $C_p$  mesurant des débits ([1], alinéa 4.b) ; la relation (4.2.2) résulte de ce que, par contre, les coefficients techniques d'échanges mesurent des consommations rapportées à la quantité unité du bien transféré et par conséquent sont sans relation avec la durée de la période élémentaire ([1], alinéa 4.b). Ces relations sont canoniques.

L'évaluation des coefficients techniques liés aux transformations est plus délicate et peut donner lieu à plusieurs variantes. La démarche proposée se décompose comme suit : on spécifie d'abord les taux de disponibilité (coefficients de types  $M_p, M_1, M_2$ ) par le TABLEAU 4.1 ci-dessous ; puis on définit les coefficients de type  $C_u$  en fonction de ces taux par les relations (4.2.4) à (4.2.6). Pour chaque  $j \in J$ , on désigne par  $h_j$  (resp.  $\underline{h}_j$ ) l'élément  $(j_0, j)$  [resp.  $(j, j_0)$ ] de  $H$  qui représente la construction [resp. le démantèlement] du parc  $j$  ; on désigne par  $h_{\#}$  la transformation de "entret. pop. std" vers "entret. pop. nouv." ; on introduit enfin les taux réduits  $m_1(h)$  et  $m_2(h)$  ( $h \in H$ ) par la relation,

$$(4.2.3) \quad M_1(h) = M_p(j')m_1(h) \quad \text{et} \quad M_2(h) = M_p(j'')m_2(h) \quad \text{pour } h \in H, h = (j', j'').$$

ACTIVITE j	$M_p(j)$	$M_1(\underline{h}_j)$	$m_1(\underline{h}_j)$	$M_2(h_j)$	$m_2(h_j)$
prod. energ. std.	0.91	0.55	0.60	0.18	0.20
prod. energ. nouv.	0.91	0.55	0.60	0.18	0.20
prod. b. interm.	0.95	0.67	0.70	0.48	0.50
prod. equip. base	0.91	0.73	0.80	0.55	0.60
prod. machines 1	0.95	0.76	0.80	0.48	0.50
prod. machines 2	0.95	0.76	0.80	0.48	0.50
agr. ; bio-industr.	0.87	0.70	0.80	0.52	0.60
industr. b. cons.	0.95	0.76	0.80	0.57	0.60
transports	0.91	0.64	0.70	0.46	0.50
gestion	0.95	0.76	0.80	0.48	0.50
administration	0.95	0.76	0.80	0.67	0.70
steduc	0.91	0.73	0.80	0.46	0.50
distribution	0.95	0.76	0.80	0.57	0.60
entret. pop. std.	0.95	0.76	0.80	0.57	0.60
entret. pop. nouv.	0.95	0.76	0.80	0.57	0.60

TRANSFORMATION h	M1(h)	m1(h)	M2(h)	m2(h)
h <sub>#</sub>	0.43	0.45	0.43	0.45

TABLEAU 4.1 - Taux de disponibilité.

$$(4.2.4) \quad C_u(i, h_j) = n m_1(h_j) \underline{C}_p(i, j) + \underline{C}_u(i, h_j) \quad \text{pour } i \in I, j \in J_p;$$

$$(4.2.5) \quad C_u(i, h_j) = n m_2(h_j) \underline{C}_p(i, j) + \underline{C}_u(i, h_j) \quad \text{pour } i \in I, j \in J_p;$$

$$(4.2.6) \quad C_u(i, h_{\#}) = (n/2) m_1(h_{\#}) \underline{C}_p(i, j_{ps}) \\ + (n/2) m_2(h_{\#}) \underline{C}_p(i, j_{pn}) + \underline{C}_u(i, h_{\#}) \quad \text{pour } i \in I.$$

Le coefficient  $m_1(h)$  [resp.  $m_2(h)$ ] défini par (4.2.3) représente, pour  $h=(j, j')$  [resp. pour  $h=(j', j)$ ], la fraction de la période élémentaire pendant laquelle les équipements du parc  $j$  sont en place avant [resp. après] les travaux de transformation en cause. Cette interprétation tient à la forme du second membre  $Y_p(t, s, j)$  de la contrainte  $x_k(t, s, j)$  (relations (5.2) et (4.2) de [1]) : les coefficients  $M_p(j)$ ,  $M_1(h)$ ,  $M_2(h)$  intervenant séparément dans  $Y_p(t, s, j)$ , l'indisponibilité pour maintenance, pendant la fraction en cause de la période élémentaire où les équipements du parc  $j$  sont hors travaux de transformation, doit être prise en compte par les coefficients  $M_1(h)$  et  $M_2(h)$  ; or, on obtient dans ce sens la relation (4.2.3), en interprétant  $m_1(h)$  et  $m_2(h)$  comme cette fraction et en supposant que les coefficients de disponibilité hors maintenance  $M_p(j)$  sont alors aussi valables.

En relation avec ce qui précède, le choix à faire pour déterminer les coefficients techniques de type  $C_u$  concerne la prise en compte des consommations de maintenance correspondant à la partie de la période élémentaire pendant laquelle les équipements sont hors travaux de transformation : la relation entre ces consommations et celles des parcs de départ et d'arrivée de la transformation va dépendre de la position temporelle des travaux pendant la période (en début, en fin de période, etc).

Dans ce sens, les relations (4.2.4), (4.2.5) et (4.2.6) correspondent respectivement aux hypothèses que les travaux de démantèlement ont lieu en fin de période (d'où l'occurrence de  $m_1$  dans le premier terme au second membre), ceux de construction en début de période (d'où l'occurrence de  $m_2$ ) et ceux relatifs à la transformation  $h_{\#}$  de façon uniformément répartie sur toute la période (d'où l'occurrence de  $m_1$  et de  $m_2$  avec le facteur  $1/2$ ). De plus, dans ces trois relations, le dernier terme au second membre correspond aux consommations proprement dites de transformation, l'absence du facteur  $n$  tenant à ce que ces consommations sont rapportées à un module et par conséquent sans relation avec la durée de la période élémentaire.

En ce qui concerne le TABLEAU 4.1, le choix des chiffres retenus a été fait, conformément à l'interprétation des coefficients de types  $m_1$  et  $m_2$  discutée ci-dessus, dans l'ordre logique consistant à spécifier d'abord les coefficients de types  $M_p$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ , puis à en déduire les coefficients de types  $M_1$  et  $M_2$  par la relation (4.2.3). Les coefficients de type  $M_p$  sont interprétés comme introduisant une marge de sécurité conventionnelle relativement aux taux d'utilisation des parcs, plutôt qu'un taux de disponibilité empirique. Dans ce sens, trois valeurs seulement figurent, 0.95, 0.91, 0.87, correspondant respectivement à une marge de sécurité faible (5%), moyenne (10%) et forte (15%) ; par exemple cette dernière est requise pour l'activité "agr. ; bio-industr." pour tenir compte des aléas climatiques, vu que la consommation de sol est en maintenance [Exposé no 1, point (a) du § 3].

### § 3 - CADRE GENERAL : DONNÉES CIRCONSTANCIELLES

On poursuit ici la mise en place du cadre général (§ 2) en spécifiant, les dotations et prélèvements, les prix extérieurs, les diverses contraintes supplémentaires qui précisent les hypothèses générales des études envisagés. Ces hypothèses générales concernent plutôt les déterminants techniques et circonstanciels (en particulier ceux relatifs aux échanges extérieurs). Elles seront complétée aux § 4 et 6 par des hypothèses spécifiques concernant plutôt les comportements collectifs. Cependant, cette distinction entre hypothèses n'est évidemment que très approximative : en particulier, les hypothèses générales introduites ci-après expriment aussi partiellement des comportements.

Les dotations et prélèvements,  $A'(t,i)$  et  $A''(t,i)$  ( $t \in T, i \in I$ ), sont homothétiques de ceux,  $\underline{A}'(i)$  et  $\underline{A}''(i)$  ( $i \in I$ ), du régime de référence [Exposé no 1, points (a) et (i) du § 3] :

$$(4.3.1) \quad A'(t,i) = n \underline{A}'(i) \quad \text{et} \quad A''(t,i) = n \underline{A}''(i) \quad \text{pour } t \in T, i \in I,$$

On considère donc comme constants dans le temps, la superficie de sol végétal disponible représenté par les dotations du bien "sol veget." et les consommations finales de défense représentées par les prélèvements du bien "serv. adm".

Les prix  $Pr(t,e)$  ( $t \in T, e \in E$ ), tous exogènes comme prix extérieurs puisque le descriptif est consolidé ([1], alinéas 3.b et 6.a), sont ceux du régime de référence [Exposé no 1, point (k) du § 3], sauf celui de l'énergie importée relativement auquel on fait l'hypothèse d'évolution indiquée par le TABLEAU 4.2 ci-après :

Période	Ref	1	2	3	4	5	6
Année init.	1973	1974	1979	1984	1989	1994	1999
Fact. mult.	1.	3.	4.	4.	5.	5.	6.
Prix energ. (GF73/MTEP)	0.1733	0.5200	0.6932	0.6932	0.8665	0.8665	1.0400

TABLEAU 4.2 - Evolution du prix de l'énergie importée.

Le facteurs 3 à la période 1 (période initiale du cheminement ; § 2) et le facteur 4 à la période 2 correspondent respectivement au premier et au second chocs pétroliers (1974 et 1979), ces facteurs étant sous-évalués pour tenir compte de l'inflation et de l'augmentation des autres prix ; conformément à ce qui a été dit au § 1, ces chiffres ne sont qu'illustratifs. On postule ensuite 10 ans de stabilité au facteur 4 (1979-1988, périodes 2 et 3), puis 10 ans au facteur 5 (1989-1998, périodes 4 et 5), enfin une augmentation au facteur 6 pour la période finale (1999-2004, période 6).

Les contraintes supplémentaires, qui cernent le cadre évolutif envisagé, sont spécifiées par les relations (4.3.2) à (4.3.11) ci-dessous. Elles concernent respectivement, les conditions initiales [rel. (4.3.2) et (4.3.3)], les limitations techniques du système productif [rel. (4.3.4)], les limitations des ressources en énergie [rel. (4.3.5)], les limitations d'échanges extérieurs [rel. (4.3.6) à (4.3.8)], les conditions financières [rel. (4.3.9) et (4.3.10)], l'évolution de la population [rel. (4.3.11)] :

$$(4.3.2) \quad \text{pour } j \in J, \quad X_p(t_0, j) = \underline{X}_p(j) + \underline{X}_u(h_j) ;$$

- (4.3.3)  $W_m(t_0, f_m) = 0$  et  $W_p(t_0, f_p) = 0$  ;
- (4.3.4) pour  $i \in I_{st}$ , posant  $V_z = \underline{a}_i X_z(t_0, \underline{e}_i) - \underline{a}_i X_z(t_0, \underline{e}_i)$ ,  

$$a_i C_f(i, j_i) X_p(t_0, j_i) + \sum_{i \in J_{st}} C_u(i, h_j) X_u(t_0, h_j) + V_{z_i} \geq 0$$
 ;
- (4.3.5) pour  $t \in T$ ,  $X_p(t, j_{es}) \leq (1+b) X_p(j_{es})$  ;
- (4.3.6) pour  $t \in T$  et  $i \in I_{exp+}$ ,  $X_z(t, \underline{e}_i) - X_z(t, \underline{e}_i) \leq n(1+c) Y_z(\underline{e}_i)$  ;
- (4.3.7) pour  $t \in T$  et  $i \in I_{exp-}$ ,  $X_z(t, \underline{e}_i) \leq n(1+c) Y_z(\underline{e}_i)$  ;
- (4.3.8) pour  $t \in T_*$  et  $i \in I_{exp}$ ,  $X_z(t, \underline{e}_i) \geq d_i [C_f(i, j_i) X_f(t, j_i) + X_z(t, \underline{e}_i) - X_z(t, \underline{e}_i)]$  ;
- (4.3.9) pour  $t \in T$ ,  $W_m(t, f_m) \leq W_m$  et  $W_p(t, f_p) \leq W_p$  ;
- (4.3.10) pour  $t \in T$ ,  $Db(t, g_m) = r_m W_m(t, f_m)$  et  $Rb(t, g_p) = r_p W_p(t, f_p)$  ;
- (4.3.11) pour  $t \in T$ ,  $X_f(t, j_{ps}) + X_f(t, j_{pn}) = X_f(j_{ps})$ .

Dans ces relations, les notations générales sont celles du texte théorique [1] (§ 2, 3, 4), avec la simplification consistant en ce que les mentions de l'unique secteur intérieur  $s_n$  sont omises ; par exemple,  $X_p(t, j)$  est mis pour  $X_p(t, s_n, j)$ ,  $X_u(t, h)$  pour  $X_u(t, s_n, h)$ , etc. Par ailleurs, on désigne par  $X_f(j)$  ( $j \in J$ ),  $X_p(j)$  ( $j \in J$ ),  $X_u(h)$  ( $h \in H$ ),  $X_z(e)$  ( $e \in E$ ), les niveaux des variables de types  $X_f$ ,  $X_p$ ,  $X_u$ ,  $X_z$  dans le régime de référence (Exposé no 1, § 6).

On désigne de plus, comme dans l'Exposé no 2 (§ 2) : par  $\underline{e}_i$  (resp.  $\underline{e}_i$ ) l'élément de la nomenclature d'échanges  $E$  qui représente l'exportation (resp. l'importation) du bien  $i$  ; par  $j_i$  l'activité (ici unique) produisant le bien  $i$  ; par  $j_{es}$ ,  $j_{en}$ ,  $j_{ps}$ ,  $j_{pn}$  respectivement les activités "prod. energ. std." (no 1), "prod. energ. nouv." (no 2), "entret. pop. std." (no 14), "entret. pop. nouv." (no 15) ; par  $J_{st}$  le sous-ensemble de  $J$  formé des parcs stratégiques (nos 1, 2, 6 ; Exposé no 2, § 2) ; par  $I_{st}$  le sous-ensemble de  $I$  formé des biens nos 6, 7, 8, 12, supposés sensibles pour les constructions des parcs stratégiques  $h_j$ ,  $j \in J_{st}$  (Exposé no 2, § 2) ; par  $I_{exp}$  l'ensemble des biens pouvant donner lieu à exportation par définition de la nomenclature d'échanges (biens nos 5 et 7 à 13), lesquels peuvent tous aussi donner lieu à importation ; par  $I_{exp-}$  l'ensemble des  $i \in I_{exp}$  tels que  $X_z(\underline{e}_i) > X_z(\underline{e}_i) > 0$  (bien no 13) et par  $I_{exp+}$  le complémentaire de  $I_{exp-}$  dans  $I_{exp}$  (biens nos 5 et 7 à 12) ; par  $f_m$  et par  $f_p$  respectivement les postes (emprunts,  $s_n$ ) et (prêts,  $s_n$ ) des nomenclatures  $F_m$  et  $F_p$  d'imputations en dettes et en créances ([1], alinéa 2.b), par  $g_m$  et par  $g_p$  respectivement les postes (int. emprunts,  $s_n$ ) et (int. prêts,  $s_n$ ) des nomenclatures  $G_d$  et  $G_r$  d'imputations en dépenses et en recettes ([1], alinéa 2.b) ; enfin par  $T_*$ , soit  $T$ , soit le segment  $T_0 = [t_0, t_1 - 1]$  de  $T$ .

Par ailleurs,  $a_i$ ,  $\underline{a}_i$ ,  $\underline{a}_i$  ( $i \in I_{st}$ ),  $b$ ,  $c$ ,  $d_i$  ( $i \in I_{exp}$ ),  $Y_z(\underline{e}_i)$  ( $i \in I_{exp+}$ ),  $W_m$ ,  $W_p$ ,  $r_m$ ,  $r_p$ , sont des données  $\geq 0$  qui sont spécifiées au cours des commentaires ci-dessous.

Les contraintes (4.3.2) et (4.3.3) sont des conditions initiales : la relation (4.3.2) exprime que les niveaux des parcs au début de la période initiale sont égaux à ceux de l'année de référence (que l'on suppose précéder immédiatement cette période ; § 2 et TABLEAU 4.2) augmentés des niveaux de constructions relatifs à cette dernière ; la relation (4.3.3) exprime l'absence d'encours (d'emprunts ou de prêts) au début de la période initiale.



Les contraintes (4.3.4) expriment que les limitations techniques particulières au développement des parcs stratégiques (Exposé no 2, § 2) sont présentes, mais cela uniquement pendant la période initiale : on suppose ainsi que l'adaptation nécessaire de l'appareil industriel, en vue de ce développement, a lieu au cours de cette période ; les coefficients  $a_i$ ,  $\underline{a}_i$ ,  $\bar{a}_i$  ( $i \in I_{st}$ ) sont ceux spécifiés par le TABLEAU 2.1 (Exposé no 2, § 3).

Les contraintes (4.3.5) expriment les limitations du potentiel local,  $X_p(t, j_{es})$ , de production d'énergie par les techniques représentées par l'activité "prod. energ. std." : le taux d'augmentation possible  $b$  de ce potentiel [représenté par les second membre de (4.3.5)] par rapport à celui,  $X_p(j_{es})$ , de l'année de référence est supposée être un peu supérieur à 25%, ce qui donne, avec  $b = 1.262$ , un potentiel maximum de 13.50 modules, soit une productibilité annuelle de  $13.50 \times 3.595 = 48.53$  MTEP [Exposé no 1, point (d) du § 3].

Les contraintes (4.3.6) à (4.3.8) expriment les limitations des échanges extérieurs conformément à la problématique étudiée dans l'Exposé no 2 laquelle consiste essentiellement, d'abord à représenter la rigidité du marché extérieur en bornant supérieurement les différences "niveau d'exportation moins niveau d'importation" plutôt que les niveaux des exportations [rel. (4.3.6) et Exposé no 2, § 2], puis celle du système productif en stipulant une certaine redondance importations/exportations [rel. (4.3.8) et Exposé no 2, § 6].

Dans ce sens, les bornes  $Y_z(\underline{e}_i)$  ( $i \in I_{exp+}$ ) sont analogues à celles introduites dans l'Exposé no 2 (§ 2) et le taux de croissance  $c$  est celui,  $c = 0.30$ , qui correspond à la variante bridée (§ 3). Plus précisément : d'une part, on pose,

$$(4.3.12) \quad \text{pour } i \in I_{exp\#}, \quad Y_z(\underline{e}_i) = X_z(\underline{e}_i) - X_z(\underline{e}_i),$$

où  $I_{exp\#}$  désigne l'ensemble des biens  $i \in I_{exp+}$  tels que  $X_z(\underline{e}_i) \geq X_z(\underline{e}_i)$  (biens nos 5, 7 et 9 à 12), i.e. l'ensemble des biens  $i \in I_{exp}$  pour lesquels le second membre de (4.3.12) est  $\geq 0$  ; d'autre part, pour  $i \in I_{exp+}$  et  $i \notin I_{exp\#}$ , en fait pour le bien  $i =$  "machines 2" (no 8) qui n'est pas produit localement dans le régime de référence), on prend  $Y_z(\underline{e}_i) = 11.54$  GF73/an [de telle sorte que  $(1+c)Y_z(\underline{e}_i) = 15$  GF73/an], soit un peu plus de 40% de la valeur, 26.98 GF73/an, fournie par (4.3.12) pour le bien  $i =$  "machines 1" ; enfin, on pose,

$$(4.3.13) \quad \text{pour } i \in I_{exp-}, \quad Y_z(\underline{e}_i) = X_z(\underline{e}_i).$$

De façon analogue, comme dans l'Exposé no 2 (§ 6), les coefficients de redondance importations/exportations  $d_i$  ( $i \in I_{exp}$ ) reçoivent essentiellement ici les valeurs qu'ils ont dans le régime de référence : d'une part, on pose,

$$(4.3.14) \quad \text{pour } i \in I_{exp*}, \quad d_i = X_z(\underline{e}_i) / [C_f(i, j_i) X_f(j_i) + X_z(\underline{e}_i) - X_z(\underline{e}_i)],$$

où  $I_{exp*}$  désigne l'ensemble des biens  $i \in I_{exp}$  tels que  $X_z(\underline{e}_i) > 0$ , ou encore  $X_f(j_i) > 0$  (biens nos 5, 7 et 9 à 13) ; d'autre part pour  $i \notin I_{exp*}$ , en fait pour le bien  $i =$  "machines 2", on prend  $d_i = 0.12$ , contre un peu plus de 0.18 pour le bien  $i =$  "machine 1" selon la relation (4.3.14), exprimant ainsi une moindre dépendance vis-à-vis des importations pour la production locale des "machines 2" qui est "nouvelle".

On souligne que les bornes  $Y_z(\underline{e}_i)$  et les coefficients de redondance  $d_i$  sont supposés indépendants de la période  $t$  concernée. Ces deux hypothèses pessimiste sont indépendantes et ont des interprétations assez différentes.

La première, celle concernant les bornes  $Y_z(\underline{e}_i)$ , exprime la persistance, pendant les 30 ans considérés, d'un marché mondial déprimé, i.e. de difficultés à exporter ; elle est conforme à ce qui s'est passé pendant les 10 premières années (1974-1983).

La seconde exprime une absence d'adaptation de l'appareil productif en vue de réduire sa dépendance vis-à-vis des importations. Une telle adaptation se traduirait aussi par une modification des coefficients techniques des diverses activités, ce qui, en termes du modèle, réclamerait au moins de dédoubler chaque activité en une version "std." et une version "nouv.". Ce dédoublement n'a été fait, dans la présente maquette, que pour les activités de production d'énergie et d'entretien de la population : pour les autres activités productives, la prospective est faite, au moins en ce qui concerne les études de transition, "à technique constante" donc aussi à dépendance constante vis-à-vis des importations.

Les contraintes (4.3.9) et (4.3.10) expriment les limitations du marché financier extérieur : pour toutes les périodes  $t \in T$ , d'une part [rel. (4.3.9)] les encours d'emprunts et de prêts sont bornés supérieurement aux niveaux  $W_m = 20 \text{ GF73}$  et  $W_p = 30 \text{ GF73}$ , d'autre part [rel. (4.3.10)] les taux d'intérêts correspondants sont de  $r_m = 25\%$  et  $r_p = 20\%$  par période de 5 ans, soit de 5% et 4% par ans.

Enfin, les contraintes (4.3.11) signifient que le niveau de la population est constant dans le temps et égal au niveau du régime de référence : seuls peuvent varier, d'une part la répartition de cette population entre habitat standard (activité  $j_{ps}$ ) et habitat nouveau (activité  $j_{pn}$ ), d'autre part les niveaux de vie correspondants [Exposé no 1, points (b) et (d) du § 5].

On désigne par  $Res_0$  la réalisation du modèle ([1], alinéa 7.c) définie par le jeu de données ainsi spécifié. L'ouverture de l'avenir, se traduit formellement par la sous-détermination de cette réalisation, malgré les limitations qui lui sont imposées : l'objet des paragraphes suivants est de faire apparaître certains aspects de cette sous-détermination et d'en dégager la signification liée au thème politique (stratégique) du PROJET ALTER.

#### § 4 - SCENARIO DE PENURIE

Dans le cadre général mis en place aux § 2 et 3, on commence par présenter un cheminement correspondant à une politique peu volontariste, sous l'hypothèse pessimiste selon laquelle le seul potentiel local de production d'énergie est celui correspondant aux techniques représentées par l'activité "prod. energ. std.", avec les limitations imposées aux possibilités de développement de cette activité [contraintes (4.3.5)].

Le cadre évolutif du scénario en question est précisé par les contraintes supplémentaires (4.4.1) à (4.4.6) ci-après qui sont adjointes aux contraintes (4.3.2) à (4.3.11) définissant le cadre général, ici avec  $T_x = T$  :

$$(4.4.1) \quad \text{pour } t \in T \text{ et } j = j_{en}, \quad X_p(t, j) = 0 \text{ et } X_u(t, h_j) = 0 ;$$

$$(4.4.2) \quad \text{pour } t \in T \text{ et } j = j_{ps}, \quad X_u(t, h_j) = 0 ;$$

$$(4.4.3) \quad \text{pour } j \in J \text{ tel que } j \neq j_{ps} \text{ et } j \neq j_{pn},$$

$$X_p(t_1, j) - X_u(t_1, \underline{h}_j) + X_u(t_1, h_j) \geq M_p(j) X_f(t_1, j) ;$$

$$(4.4.4) \quad \text{pour } j = j_{ps},$$

$$X_p(t_1, j) - X_u(t_1, \underline{h}_j) - X_u(t_1, h_{\#}) + X_u(t_1, h_j) \geq M_p(j) X_f(t_1, j) ;$$

$$(4.4.5) \quad \text{pour } j = j_{pn},$$

$$X_p(t_1, j) - X_u(t_1, \underline{h}_j) + X_u(t_1, h_j) + X_u(t_1, h_{\#}) \geq M_p(j) X_f(t_1, j) ;$$

$$(4.4.6) \quad W_m(t_1, f_m) = 0 \quad \text{et} \quad R_m(t_1, f_m) = 0.$$

Les contraintes (4.4.1) expriment que l'activité "prod. energ. nouv." n'est pas disponible, ce qui équivaut à l'hypothèse pessimiste selon laquelle le seul potentiel local de production d'énergie est celui qui correspond à l'activité "prod. energ. std."

Les contraintes (4.4.2) postulent un comportement de la collectivité consistant en ce que les constructions relatives à l'activité "entret. pop. std." sont proscrites ; cette hypothèse constitue le seul comportement volontariste introduit ici : dans une situation de pénurie d'énergie, c'est un minimum ! On souligne que, via l'inscription en coefficients de maintenance  $[C_p(i, j_{ps})]$  et  $[C_p(i, j_{pn})]$  d'une partie des consommations d'entretien de la population [Exposé no 1, point (d) du § 5], les contraintes (4.4.2) permettent de prendre en compte l'élimination de certains gaspillages, en l'occurrence ceux que l'on peut éviter par une augmentation du niveau de vie de type "nouv." plutôt que de type "std." (i.e. par construction  $h_j$  avec  $j=j_{pn}$  plutôt que  $j=j_{ps}$ ). Par contre l'absence de dédoublement des autres activités (§ 3 ci-dessus) fait que l'on procède "à gaspillage constant" pour le système productif.

Les contraintes (4.4.3) à (4.4.6) concernent seulement la période finale  $t_1$ . Elle correspondent à une exigence de pérennité pour cette période et les suivantes, lesquelles ne sont pas prises en compte par le formalisme de base. Dans ce sens, remplaçant les équations d'évolution (des parcs et des encours, contraintes de types  $x_e, e_p, e_m$  ; [1], alinéas 5.b et 5.c) qui manquent pour la période  $t_1$ , elles expriment que les variables de capital (niveaux des parcs et des encours) seront à des niveaux "acceptables" à la période suivante  $t_{1+1}$  : les relations (4.4.3) et (4.4.4)-(4.4.5) stipulent respectivement que pour les parcs productifs et pour les parcs d'habitat le nombre de modules en place au début de la période  $t_{1+1}$  sera compatible avec un fonctionnement analogue à celui de la période  $t_1$  ; tandis que la relations (4.4.6) prescrit un équilibre financier strict à la période  $t_1$  afin de réserver celui de la suivante. Diverses variantes de ces contraintes sont évidemment possibles, par exemple, on pourrait prescrire,

$$(4.4.7) \quad W_m(t_1, f_m) + R_m(t_1, f_m) \leq W_m.$$

au lieu de (4.4.6), avec la même valeur  $W_m = 20 \text{ GF73}$  que dans (4.3.9).

On désigne par  $Res1$  la réalisation dérivée de  $Res0$  (§ 3) en adjoignant aux contraintes de  $Res0$  les contraintes (4.4.1) à (4.4.6) ci-dessus. Cette réalisation représente la situation de pénurie envisagée. Elle est cependant encore largement sous-déterminée, en particulier en ce qui concerne l'évolution du niveau de vie, évolution sur laquelle on va focaliser l'étude.

On pourrait montrer cette sous-détermination par une analyse multicritère consistant à chercher, pour chaque période  $t \in T$ , quel est le niveau de vie maximum qui peut être atteint à cette période ; on pourrait par exemple pour cela utiliser les spécifications de critères "max  $C_{1,t}$ " ( $t \in T$ ), en définissant les critères  $C_{1,t}$  ( $t \in T$ ) par,

$$(4.4.8) \quad C_{1,t}(X) = X_p(t, j_{ps}) + X_p(t, j_{pn}) \quad (t \in T).$$

On s'intéresse plutôt ici à un cheminement, compatible avec la réalisation  $Res1$ , qui corresponde au comportement collectif (considéré comme peu volontariste dans la situation de pénurie en cause) consistant à rechercher, à chaque période, le niveau de vie le plus élevé possible. Ce comportement sera désigné par "nv/locmax" ci-après.

La détermination d'un tel cheminement pose un problème standard d'optimisation multicritère.

L'approche de ce problème selon la démarche de prévision caractéristique des modèles économétriques ([3], [7]) consisterait à faire une simulation dynamique du cheminement en question ([1], alinéa 9.d), en utilisant, à chaque période conformément à la relation (12.15) de [1] ici écrite avec Max au lieu de Min, un critère de la forme,

$$(4.4.9) \quad C_t(X) = C_{1,t}(X) + C_{2,t}(X),$$

où  $C_{1,t}(X)$  est défini par (4.4.8) et où  $C_{2,t}(X)$  devrait exprimer une stratégie d'investissements. Une telle simulation n'est pas dans l'esprit de cet Exposé où il n'est pas question de prévision ([1], alinéa 1.a ; Exposé no 1, § 1), en particulier elle est peu adaptée aux contraintes finales (4.4.3) à (4.4.6) qui rendraient le traitement numérique très lourd : dans le présent paragraphe, on cherche seulement à obtenir, comme terme de comparaison pour l'étude du développement des énergies renouvelables faite ensuite, un cheminement de pénurie [i.e. sans ces énergies : contrainte (4.4.1)] ; dans ce sens, c'est la détermination par un critère global qui convient, non l'approche par simulation dynamique.

Le critère global,  $C_{nv1}$ , retenu pour exprimer le comportement nv/locmax via la spécification "max  $C_{nv1}(X)$ " est donné par,

$$(4.4.10) \quad C_{nv1} = \sum_{t \in T} X_p(t, j_{pn}) ;$$

il est analogue à la somme des  $C_{1,t}$ , mais avec une nuance en faveur de l'habitat nouveau.

Le cheminement correspondant est fourni par la détermination 4.1. On l'analyse succinctement ci-après, d'abord des trois points de vue privilégiés ici (l'approvisionnement en énergie, le type d'habitat, le niveau de vie), ensuite du point de vue de l'emploi.

En ce qui concerne l'approvisionnement en énergie, le développement du potentiel local de l'activité  $j_{es}$ , i.e. "prod. energ. std.", a lieu pendant la période initiale, après quoi (i.e. pendant les périodes suivantes) les niveaux de fonctionnement et de parc correspondants sont à leurs maximum : respectivement 12.28 et 13.50 modules, les contraintes  $x_k(t, j_{es})$  étant serrées, i.e. le rapport  $X_f(t, j_{es})/X_p(t, j_{es})$  restant égal au coefficient  $M_p(j_{es})$ . Le niveau des importations d'énergie décroît régulièrement de 116.61 MTEP/an (période initiale) à 74.21 (période finale), alors qu'il est de 124.75 MTEP/an pour le régime de référence ; l'effort d'économie est donc important, spécialement entre la 5ème et la 6ème périodes où la baisse des importations est de 2.8% par an [0.028 = (1 - 74.21/86.43)/5].

En ce qui concerne l'habitat, la seule transformation  $h_{\#}$  du parc  $j_{ps}$  en parc  $j_{pn}$  a lieu pendant la première période où 9.91 modules sont transformés, le reste (1.40 module) étant démantelé à la 5ème période. Ainsi, à partir de la 2ème période la population est essentiellement (pour plus de 85%) en habitat de type nouveau (parc  $j_{pn}$ ).

Par oppositions aux évolutions précédentes qui sont monotones, le niveau de vie passe par un maximum à la 4ème période puis chute ensuite fortement entre la 5ème période et la période finale jusqu'à une valeur inférieure à celle du régime de référence. Plus précisément, l'évolution du niveau de vie de la population (très majoritaire) qui est en habitat de type nouveau est donnée par le TABLEAU 4.3 ci-après, dans lequel on désigne par  $N_v(t, j_{pn})$  le niveau de vie à la période  $t$  défini par la relation,

$$(4.4.11) \quad Nv(t, j_{pn}) Xf(t, j_{pn}) = Xp(t, j_{pn}) - Xu(t, h_{pn}) + m1(h_{pn}) Xu(t, h_{pn}) \\ + m2(h_{\#}) Xu(t, h_{\#}) + m2(h_{pn}) Xu(t, h_{pn}) \quad (t \in T),$$

où  $h_{pn}$  (resp.  $h_j$ ) désigne la construction  $h_j$  (resp. le démantèlement  $h_j$ ) pour le parc  $j_{pn}$  en cause, en remarquant que le second membre est égal au quotient par  $Mp(j_{pn})$  du second membre de la contrainte  $xk(t, j_{pn})$ .

Période t	Ref	1	2	3	4	5	6
Année init.	1973	1974	1979	1984	1989	1994	1999
$Nv(t, j_{pn})$	1.11	1.11	1.31	1.49	1.55	1.44	1.05

TABLEAU 4.3 - Evolution du niveau de vie dans le scénario de pénurie.

On souligne le lien entre l'évolution du niveau de vie et celle du prix de l'énergie importée (TABLEAU 4.2) : la chute finale du premier est concomitante de la l'augmentation finale du second. On souligne aussi que le niveau de vie final vaut  $1/Mp(j_{pn})$ , i.e. la valeur requise techniquement. Par ailleurs, pour la population qui est en habitat de type standard, le niveau de vie vaut  $1/Mp(j_{ps})$  à toutes les périodes.

En ce qui concerne l'emploi, le plein emploi est pratiquement réalisé pendant les trois premières périodes, le léger sous-emploi de la période initiale tenant vraisemblablement à la contrainte technique concernant le bien "gestion" [relation (4.3.4)] qui, étant serrée, limite le développement du parc stratégique "machines 2" (Exposé no 2, § 5, série no 4). Le sous-emploi croit ensuite fortement (1.62 Memplois à la 4eme période et 1.84 à la 5eme) pour atteindre 3.30 Memplois à la période finale. Ces chiffres sont à prendre avec toutes les réserves faites précédemment : on fait seulement remarquer qu'ils ne sont pas aberrants, bien qu'aucune hypothèse "ad hoc" n'ait été faite à leur sujet.

## § 5 - SCENARIO DE DEVELOPPEMENT : ETUDE A LONG TERME

Pour l'étude d'un scénario de développement des énergies renouvelables qui constitue l'objet principal de cet exposé (§ 1), on va utiliser l'approche globale avec décomposition ([1], alinéa 12.d), l'étude faite ci-après du système final à mettre en place précédant celle du scénario de transition (§ 6).

Conformément à la démarche employée dans le PROJET ALTER ([5], alinéa I.2.c), on commence donc par l'étude, dans le cadre de la micro-maquette, de ce que pourrait être à très long terme pour la France un régime stable d'auto-suffisance énergétique principalement basé sur le potentiel local des énergies renouvelables. En fait, le terme en cause, l'horizon temporel, n'intervient pas dans l'étude finale et plutôt que "à très long terme", il vaudrait mieux dire "libre de toute contrainte de terme".

Dans ce sens, l'étude va être faite dans le cadre d'une réalisation statique de la micro-maquette ; on commence ci-après par spécifier le jeu de données correspondant.

L'appareil nominatif (le système de nomenclatures ; [1], §2) correspond au descriptif fondamental de référence (Exposé no 1, § 2) : cas statique avec une période élémentaire de un an ; descriptif consolidé, i.e. avec le seul secteur intérieur  $s_n$ .

Le jeu de données techniques est le jeu de référence (Exposé no 1 § 5), sauf pour les taux de disponibilité des parcs (coefficients techniques de type  $M_p$ ) qui sont ceux donnés par le TABLEAU 4.1 (§ 2 ci-dessus).

Les dotations et prélèvements sont aussi ceux,  $A'(i)$  et  $A''(i)$  ( $i \in I$ ), du régime de référence [Exposé no 1, points (a) et (i) du § 3].

Les prix  $Pr(e)$  ( $e \in E$ ), tous exogènes comme prix extérieurs puisque le descriptif est consolidé ([1], alinéas 3.b et 6.a), sont ceux du régime de référence [Exposé no 1, point (k) du § 3] sauf le prix de l'énergie importée qui est multiplié par le même facteur  $\delta$  que dans la période finale du cadre général (TABLEAU 4.2, § 3).

Les contraintes supplémentaires qui cernent la situation envisagée (§ 1) sont spécifiées par les relations (4.5.1) à (4.5.7) ci-dessous. Elles concernent respectivement, les limitations d'échanges extérieurs [rel. (4.5.1) à (4.5.3)], les conditions financières [rel. (4.5.4)], les transformations [rel. (4.5.5)], le niveau de la population [rel. (4.5.6)] et son niveau de vie [rel. (4.5.7)] :

- (4.5.1) pour  $i = i_{en}$ ,  $Xz(\underline{e}_i) = 0$  ;
- (4.5.2) pour  $i \in I_{exp}$ ,  $Xz(\underline{e}_i) = 0$  ;
- (4.5.3) pour  $i \in I_{exp}$ ,  $Xz(\underline{e}_i) \leq (1+c)Yz(\underline{e}_i)$  ;
- (4.5.4)  $Wm(f_m) = 0$ ,  $Wp(f_p) = 0$ ,  $Rm(f_m) = 0$  ;
- (4.5.5) pour  $h \in H$ ,  $Xu(h) = 0$  ;
- (4.5.6)  $Xf(j_{ps}) + Xf(j_{pn}) = \underline{X}f(j_{ps})$  ;
- (4.5.7)  $Xp(j_{ps}) \geq NvXf(j_{ps})$  et  $Xp(j_{pn}) \geq NvXf(j_{ps})$ .

Dans ces relations, les notations générales sont celles du texte théorique [1] (§ 2, 3, 4), notations déjà utilisées dans l'Exposé no 2 (§ 2) et au § 3 ci-dessus, avec la même simplification consistant en ce que les mentions de l'unique période et de l'unique secteur intérieur sont omises.

En plus des notations particulières déjà introduites (Exposé no 2, § 2, ou § 3 ci-dessus), on désigne par  $i_{en}$  le bien "énergie". Par ailleurs,  $Yz(\underline{e}_i)$  ( $i \in I_{exp}$ ),  $c$  et  $Nv$  sont des données  $\geq 0$  qui sont spécifiées au cours des commentaires ci-dessous.

Les contraintes (4.5.1) et (4.5.2) expriment les hypothèses de base : elles excluent respectivement les importations du bien énergie [rel. (4.5.1)] et celles de tous les autres biens susceptibles d'être produits localement (biens  $i \in I_{exp}$  ; rel. (4.5.2)). La première exprime l'exigence d'auto-suffisance énergétique. Les secondes étendent l'exigence d'auto-suffisance à tous les biens susceptibles d'être produits localement, y compris le bien "machines 2". L'ensemble implique que seules des matières premières non énergétiques peuvent être importées.

Les motivations de la contrainte (4.5.1) sont celles du PROJET ALTER (chap. I). Les contraintes (4.5.2) sont brièvement commentées ci-après.

Du point de vue méthodologique, la suppression radicale de la redondance importations/exportations stipulée par ces contraintes peut sembler antinomique avec la fixité postulée pour les coefficients techniques [§ 3, discussion de la relation (4.3.14)] : au niveau d'agrégation de la micro-maquette, cette anomalie ne joue qu'au second ordre, via les consommations dues aux échanges ; l'étude faite à ce sujet dans l'Exposé no 2 (§ 2 et 6) est complétée ci-après

par la détermination 4.2.6.

Du point de vue réaliste, l'exigence d'une auto-suffisance poussée en ce qui concerne la production industrielle va à l'encontre de l'idéologie dominante en faveur de la division internationale du travail ([1], alinéa 1.a). Remarquant à ce propos que la mise en pratique par le Japon, nonobstant cette idéologie, de l'exigence en question est un facteur important de sa réussite économique actuelle, on ne voit pas pourquoi on ne la retiendrait pas comme hypothèse de l'étude. Cependant, plutôt qu'avec le comportement agressif du Japon (voir ci-après le commentaire des limitations d'exportations), elle est conjuguée ici avec la recherche d'une utilisation maximale de la richesse territoriale que possède la France ([5], alinéa I.4.a) mais non le Japon.

Les contraintes (4.5.3) expriment les limitations des possibilités d'exportation, conformément à la problématique étudiée dans l'Exposé no 2 et reprise au § 3 ci-dessus. Les bornes  $Yz(\underline{g}_i)$  ( $i \in I_{exp}$ ) sont celles définies au § 3, essentiellement via les relations (4.3.12) et (4.3.13), tandis que le taux de croissance  $c$  a la même valeur  $c = 0.30$ . On souligne que ce sont toujours essentiellement les différences "niveau d'exportation moins niveau d'importation" qui sont bornées [par  $1+c$  fois les quantités correspondantes pour le régime de référence ; relation (4.3.12)] : cette condition se traduit simplement ici par des bornes d'exportations, puisque les niveaux d'importations  $Xz(\underline{g}_i)$  ( $i \in I_{exp}$ ) en cause sont mises à zéro par les contraintes (4.5.2).

Ainsi, les limitations "à très long terme" relatives aux possibilités d'exportation sont supposées être les mêmes que celles, assez sévères, postulées pour la transition. Ces limitations signifient en particulier une faible agressivité sur les marchés extérieurs : l'auto-suffisance "à la Française" envisagée ci-dessus est conjuguée avec un comportement de type neutraliste, axée sur la valorisation des équilibres locaux et la richesse territoriale ([5], alinéas I.2.b et I.4.a), plutôt qu'avec un comportement de type conquérant, comme celle "à la Japonaise".

Les contraintes (4.5.4) à (4.5.6) précisent ce comportement neutraliste : strict équilibre financier avec l'extérieur [pas d'encours d'emprunts ou de prêts, pas d'emprunts ; rel. (4.5.4)] ; stationnarité des équipements [pas de transformation des parcs ; rel. (4.5.5)] ; population stable, au niveau de la population de référence [rel. (4.5.6)].

L'hypothèse précédente de stationnarité touche à un autre interdit de l'idéologie dominante, l'absence de croissance : de fait, on s'intéresse ici à un régime "à très long terme" qui soit stable, équilibré sans croissance. A ce propos, dans la perspective du comportement neutraliste postulé, il est raisonnable de considérer que, l'effectif de la population étant stable [rel. (4.5.6)], la seule justification de la croissance des équipements est celle du niveau de vie (voir l'Exposé no 3 à ce sujet) : la question est donc de savoir à quel niveau de vie peut se situer le régime stationnaire en cause.

Eu égard à cette question, les contraintes (4.5.7) stipulent une borne inférieure  $N_v$  pour le niveau de vie de la population, la même pour les deux types d'habitat (parcs  $j_{ps}$  et  $j_{pn}$ ). On note que, en vertu des contraintes  $x_k(j_{ps})$  et  $x_k(j_{pn})$  [et de la contrainte de stationnarité (4.5.5)], les contraintes (4.5.7) ne peuvent être serrées (i.e. ne peuvent être conséquentes) que si la borne  $N_v$  est supérieure à la quantité  $\underline{N}_v = 1/M_p(j_{ps}) = 1/M_p(j_{pn})$ , quantité qui vaut  $1/0.95 = 1.053$  (TABLEAU 4.1, § 2).

On désigne par  $Res2(N_v)$  la réalisation du modèle ([1], alinéa 7.c) définie par le jeu de données ainsi spécifié. Lorsque  $N_v \leq \underline{N}_v$ , cette réalisation ne dépend pas de  $N_v$  ; on la désigne alors seulement par  $Res2$ .

On souligne que les niveaux des parcs,  $X_p(j)$  ( $j \in J$ ), sont endogènes dans ces réalisations : l'étude en cause est un exercice de "dimensionnement" qui a

essentiellement pour but de les déterminer, car ce sont eux qui servent de charnière entre l'étude finale et l'étude de transition (§ 6).

Cela étant, le premier résultat obtenu, le résultat de base qui n'est pas évident a priori vu l'ensemble des exigences introduites, réside en ce que l'extension de la réalisation Res2 n'est pas vide : il existe des régimes compatible avec cette réalisation.

Afin de le montrer, tout en répondant à la question du niveau de vie posée ci-dessus, on commence (détermination 4.2.1) par rechercher le régime pour lequel le niveau de vie est maximum. Pour cela, on utilise le critère  $C_{NV}$  donné par,

$$(4.5.8) \quad C_{NV}(X) = [Xp(j_{ps}) + Xp(j_{pn})]/Xf(j_{ps}),$$

avec la spécification "max  $C_{NV}(X)$ " qui est désignée par  $nv/\max$ . Cette spécification de critère convient au propos car, en vertu de la contrainte (4.5.6) de stabilité de la population,  $C_{NV}(X)$  coïncide avec la mesure moyenne du niveau de vie  $Nv(X)$  donnée [Exposé no 1, point (d) du § 5] par,

$$(4.5.9) \quad Nv(X) = [Xp(j_{ps}) + Xp(j_{pn})]/[Xf(j_{ps}) + Xf(j_{pn})].$$

La valeur du niveau de vie maximum ainsi obtenue est de 1.3398, soit 25.81% de plus que la valeur du régime de référence qui vaut 1.11.

De plus, le régime correspondant à cette détermination 4.2.1 présente les caractéristiques suivantes qui le distinguent profondément du régime de référence et en font une illustration macroéconomique de l'image énergétique fournie par le PROJET ALTER ([5], chap. I et V) : la répartition des parcs est de type "post-industriel", avec des niveaux élevés pour les parcs de production d'énergie, afin d'assurer l'auto-suffisance voulue, mais avec des niveaux faibles pour l'industrie lourde, sauf relativement en ce qui concerne le parc "prod. machines 2" ; l'habitat est entièrement de type "nouv." (parc  $j_{pn}$ ) ; la totalité du sol végétal disponible est utilisée ; conformément aux contraintes introduites, les échanges extérieurs sont très réduits, avec de faibles exportations de machines et de services pour équilibrer les importations limitées aux matières premières ; le sous-emploi (qui peut être interprété comme "temps libre" en termes "post-industriels") n'est pas très élevé en comparaison de celui obtenu dans les situations de crise étudiées dans l'Exposé no 2 (§ 4, série no 2) ou dans le scénario de pénurie (§ 4 ci-dessus).

Afin de compéter ce résultat, on va procéder à une analyse multicritère ([1], alinéa 9.a) relative à la réalisation  $Res2(Nv)$ , la borne  $Nv$  du niveau de vie étant prise égale à 1.33, soit 20% de plus que le niveau de référence et juste en dessous du maximum 1.34 fourni par la détermination 4.2.1. Dans cette analyse, on va utiliser des critères variés, pour cerner de plusieurs cotés l'extension en cause, et explicites, pour éviter des modulations arbitraires ([1], alinéa 9.b). Les critères retenus, avec leurs spécifications, sont les suivants :

$$(4.5.10) \quad C_{s1}(X) = Yb(i_{s1}) \text{ [max]}, \quad C_{tr}(X) = Yb(i_{tr}) \text{ [max]},$$

$$(4.5.11) \quad C_{exp}(X) = \sum_{i \in I_{exp}} Pr(\underline{e}_i) Xz(\underline{e}_i) \text{ [min]}, \quad C_{mg}(X) = Dp(f_p) \text{ [max]},$$

où, en plus des notations déjà introduites au § 3,  $Yb(i)$  désigne l'excédent du bien  $i \in I$  ([1], alinéa 4.a) et  $i_{s1}$  (resp.  $i_{tr}$ ) le bien "sol veget." (resp. "travail"). Les spécifications de critère correspondant aux deux premiers reviennent à minimiser l'utilisation des biens  $i_{s1}$  et  $i_{tr}$ , via la maximisation de leurs excédents ; on les désigne par util.sol/min et util.trav/min. Celles



correspondant aux deux derniers consistent à minimiser le montant en valeur des exportations et à maximiser le montant des prêts consentis à l'extérieur, donc aussi [en vertu de la contrainte (4.5.4)] la marge totale des échanges extérieurs ; on les désigne par export/min et marge/max.

Les déterminations 4.2.2 à 4.2.5 montrent que les régimes correspondants sont dans l'ensemble très voisins de celui fourni par la détermination 4.2.1, en particulier en ce qui concerne les niveaux des parcs et le sous-emploi, les différences les plus importantes concernant la nature des biens exportés pour équilibrer les importations de matières premières. On voit aussi sur la détermination 4.2.3 que la marge de manoeuvre concernant l'utilisation du sol est très étroite, ce qui correspond à la forte consommation de sol du parc "prod. energ. nouv." Cette étude de multiplicité suggère donc que l'extension de la réalisation Res2(Nv) est peu étendue, i.e. que la latitude de choix est faible.

On souligne que les critères utilisés pour l'analyse multicritère précédente sont des outils d'évaluation qu'on n'interprète pas comme objectifs en termes réalistes, même s'ils peuvent l'être : dans une procédure opérationnelle où le modèle serait utilisé par une collectivité comme instrument de concertation sur son avenir ([1], alinéa 12.e), ces critères, ainsi d'ailleurs que les contraintes comportementales, devraient être choisis par les participants en fonction de leurs besoins d'interrogation ; ce n'est qu'à défaut de concertation que, dans le cadre illustratif de cet exposé, les uns et les autres sont fixés par l'opérateur.

L'étude à long terme doit conduire au choix d'un multiplet de variables de capital servant d'articulation avec l'étude de transition ([1], alinéa 12.d ; il n'y a pas de mémorisation dans le cadre considéré) : ce choix se réduit ici, puisque les encours sont supposés nuls et qu'il n'y a pas de stocks, à celui d'un multiplet  $X_p(j)$  ( $j \in J$ ) de niveaux des parcs. Dans une procédure opérationnelle, il devrait résulter de la concertation visée ([1], alinéa 12.e et ci-dessus) ; à défaut, on a retenu les niveaux de parcs du régime fourni par la détermination 4.2.1. Ce sont ces niveaux qui sont notés  $X_p(j)$  ( $j \in J$ ) dans la suite.

Afin d'évaluer pour terminer l'influence de la redondance importations/exportations dans le cadre spécifié par les niveaux de parcs retenus, on considère la réalisation Res3 obtenue, à partir de Res2, en supprimant les contraintes (4.5.2) et en ajoutant les contraintes :

$$(4.5.12) \quad \text{pour } i \in I_{\text{exp}}, \quad X_z(\underline{e}_i) \geq d_i [C_f(i, j_i) X_f(j_i) + X_z(\underline{e}_i) - X_z(\underline{e}_i)],$$

$$(4.5.13) \quad \text{pour } j \in J \text{ tel que } j \neq j_{pn}, \quad X_p(j) = \underline{X}_p(j),$$

où les coefficients  $d_i$  ( $i \in I_{\text{exp}}$ ) valent la moitié de ceux introduits pour le cadre général [autour de la relation (4.3.14)]. Comme annoncé ci-dessus dans le commentaire des contraintes (4.5.2), la détermination 4.2.6, relative à la réalisation Res3 et à la même spécification de critère nv/max que la détermination 4.2.1, fournit aussi un régime voisin des précédents, sauf en ce qui concerne les échanges extérieurs.

En conclusion, l'étude montre qu'un régime satisfaisant aux conditions (exigeantes) requises est possible "à très long terme", mais cela de façon "serrée" et sans grande latitude de choix. La question se pose maintenant de la possibilité d'atteindre ce régime dans le même cadre général (lui aussi assez contraignant ; § 2 et 3) que le scénario de pénurie (§ 4). L'étude de transition (§ 6) va permettre de répondre par l'affirmative à cette question.

## § 6 - SCENARIO DE DEVELOPPEMENT : ETUDE DE TRANSITION

Conformément à l'approche globale avec décomposition ([1], alinéa 12.d), le scénario de développement des énergies renouvelables que l'on a en vue est étudié ci-après comme cheminement de transition entre le régime de référence et le régime final fourni par l'étude à long terme (§ 5).

Le cadre évolutif de ce scénario est précisé par les contraintes (4.6.1) à (4.6.4) ci-après. Ces contraintes, qui sont adjointes aux contraintes (4.3.2) à (4.3.11) délimitant le cadre général (§ 3) ici avec  $T_* = T_0$ , complètent les hypothèses générales (qu'expriment ce dernier) en précisant le caractère volontariste du scénario :

$$(4.6.1) \quad \text{pour } j \in J, X_p(t_1, j) = \underline{X}_p(j),$$

$$(4.6.2) \quad W_m(t_1, f_m) = 0,$$

$$(4.6.3) \quad \text{pour } t \in T, \underline{N}_v(t) X_f(t, j_{ps}) \leq X_p(t, j_{ps}) - X_u(t, \underline{h}_{ps}) \\ + m_1(\underline{h}_{ps}) X_u(t, \underline{h}_{ps}) + m_1(h_{\#}) X_u(t, h_{\#}) + m_2(h_{ps}) X_u(t, h_{ps}),$$

$$(4.6.4) \quad \text{pour } t \in T, \underline{N}_v(t) X_f(t, j_{pn}) \leq X_p(t, j_{pn}) - X_u(t, \underline{h}_{pn}) \\ + m_1(\underline{h}_{pn}) X_u(t, \underline{h}_{pn}) + m_2(h_{\#}) X_u(t, h_{\#}) + m_2(h_{pn}) X_u(t, h_{pn}),$$

où, en plus des notations déjà introduites au § 3,  $h_{ps}$  et  $h_{pn}$  (resp.  $\underline{h}_{ps}$  et  $\underline{h}_{pn}$ ) désignent les constructions  $h_j$  (resp. les démantèlements  $\underline{h}_j$ ) pour les parcs  $j_{ps}$  et  $j_{pn}$ , tandis que  $\underline{X}_p(j)$  ( $j \in J$ ) et  $\underline{N}_v(t)$  ( $t \in T$ ) sont des données  $\geq 0$  qui sont spécifiées au cours des commentaires ci-dessous.

Les contraintes (4.6.1) et (4.6.2) sont les conditions finales qui réalisent le couplage entre le régime final étudié indépendamment (§ 4) et la transition ici définie comme la suite des régimes relatifs aux périodes précédant la période finale  $t_1$  ([1], alinéa 7.c).

Le régime final intervient essentiellement dans l'étude de transition par les niveaux de ses parcs qui sont ceux,  $\underline{X}_p(j)$  ( $j \in J$ ), retenus après l'étude à long terme : les contraintes (4.6.1) expriment que le cheminement aboutit, à la période finale  $t_1$ , aux niveaux de parcs voulus.

La contrainte (4.6.2) exclut l'existence d'un encours d'emprunt au début de la période finale, cela en accord avec l'étude à long terme qui suppose l'absence de tels encours [première relation (4.5.4)].

On souligne à propos de ces conditions finales, la différence de statut méthodologique entre, d'une part les contraintes (4.4.3) à (4.4.6) (§ 4), d'autre part les contraintes (4.6.1) et (4.6.2) : les premières conditionnent, dans l'étude du § 4, le régime final (en particulier les niveaux des variables de capital) du cheminement en même temps que la transition, les secondes conditionnent seulement ici cette dernière, les niveaux finals des variables de capital étant donnés.

Ainsi, dans l'étude de transition, le régime final n'est conditionné et couplé à la transition que par les niveaux donnés de ses variables de capital : par exemple, remplacer ici (4.6.2) par (4.4.6) n'apporterait rien à la détermination de la transition.

Les contraintes (4.6.3) et (4.6.4) expriment une politique volontariste en ce qui concerne l'évolution du niveau de vie : en remarquant que les seconds membres sont égaux respectivement aux quotients par  $M_p(j_{ps})$  et  $M_p(j_{pn})$  des seconds membres des contraintes  $x_k(t, j_{ps})$  et  $x_k(t, j_{ps})$ , on voit que ces relations prescrivent, à chaque période  $t \in T$ ,  $\underline{N}_v(t)$  comme borne inférieure pour

les niveaux de vie dans chacun des deux types d'habitat. Les valeurs retenues pour ces bornes croissent en progression géométrique, de la valeur  $Nv(t_0) = [Xp(j_{ps}) + Xu(h_{ps})]/Xf(j_{ps})$  (soit  $Nv(1) = 1.131$ ) pour la période initiale à la valeur  $Nv(t_1) = Nv$  (avec  $Nv = 1.330$ ) de l'étude à long terme.

On note que, conformément à la discussion précédente des conditions finales, la transition n'est conditionnée que par les contraintes (4.6.3) et (4.6.4) pour  $t \in T_0$ , la valeur retenue pour la borne  $Nv(6)$  ne jouant qu'un rôle de repère dans la détermination des bornes  $Nv(t)$  pour  $t \in T_0$ .

On désigne par Res4 la réalisation dérivée de Res0 (§ 3) en adjoignant aux contraintes de Res0 les contraintes (4.6.1) à (4.4.4) ci-dessus. La réalisation Res4 ainsi définie représente la situation envisagée pour la transition : l'étude de cette dernière va reposer alors sur la détermination de cheminements compatibles avec cette réalisation ([1], alinéas 7.c et 7.d).

Encore à propos des conditions finales, on note que l'étude de transition pourrait aussi être faite selon une variante utilisant, au lieu de la réalisation Res4, une réalisation ayant  $T_0$ , au lieu de  $T$ , comme nomenclature de périodes (i.e. avec 5 périodes au lieu de 6) : les conditions finales seraient à remplacer par des contraintes spéciales convenables [analogues aux contraintes (4.4.3) à (4.4.5) de la réalisation Res1 ; § 4] jouant le rôle des équations d'évolution entre les périodes  $t_{1-1}$  et  $t_1$ , équations qui manqueraient alors. On préfère ici utiliser la procédure basée sur la réalisation Res4 car, d'une part elle permet de n'avoir qu'un seul cadre évolutif, d'autre part elle utilise plus complètement la structure de base, via les équations d'évolution précitées.

Cela étant, on va présenter les deux résultats suivants : (1) la transition est possible en 5 périodes (soit 25 ans) dans le cadre de la réalisation Res4 ; (2) par contre la transition n'est pas possible en 4 périodes, mais sans doute pas de très loin.

Ces résultats vont être établis au moyen des déterminations 4.3.1 et 4.3.2 : la première a pour but d'établir le résultat (1) tout en fournissant un cheminement de transition en 5 périodes qui soit homogène et puisse constituer un scénario raisonnable de développement des énergies renouvelables, la seconde a pour but d'évaluer si la transition est possible en 4 périodes et d'établir le résultat (2).

Ces déterminations vont utiliser respectivement les spécifications de critère "min  $C_{tot}$ " et "min  $C_{fin}$ ", notées "imp.tot.en/min" et "imp.fin.en/min", les critères  $C_{tot}$  et  $C_{fin}$  étant définis par :

$$(4.6.5) \quad C_{tot}(X) = \sum_{t \in T_0} Xz(t, e_{en}) \quad \text{et} \quad C_{fin}(X) = Xz(t_{1-1}, e_{en}),$$

où  $e_{en}$  désigne l'élément de la nomenclature d'échanges  $E$  représentant l'importation du bien "énergie". Les spécifications de critère "imp.tot.en/min" et "imp.fin.en/min" correspondent à la minimisation de la quantité d'énergie importée respectivement pendant toute la transition et pendant la dernière période de la transition (i.e. pendant la 5ème période).

Au delà de l'analogie formelle entre ces deux spécifications de critère, leurs statuts méthodologiques, dans le cadre de l'exercice de prospective en cause, sont assez différents.

Le choix de la spécification "imp.tot.en/min" est motivé par la recherche d'un cheminement "homogène" via la seule résolution du problème d'optimisation correspondant pour la réalisation Res4 ([1], alinéa 7.d). Le qualificatif "homogène" est mis ici pour signifier que le comportement global, la tendance exprimée par la spécification de critère en cause ([1], alinéa 7.a), complète,

est cohérente avec, l'ensemble des hypothèses sous-jacentes à la réalisation Res4 : de fait, la tendance consistant à minimiser les importations d'énergie est cohérente aussi bien avec les conditions assez sévères auxquels sont soumis les échanges extérieurs (en particulier en ce qui concerne le prix de l'énergie importée ; § 3), qu'avec l'aboutissement de la transition cherchée qui est l'auto-suffisance énergétique.

Par contre, le choix de la spécification "imp.fin.en/min" a une motivation strictement formelle : que le niveau minimum des importations d'énergie à la 5eme période ne soit pas nul (ainsi que le montre la détermination 4.3.2) entraîne mathématiquement qu'il n'existe pas de cheminement aboutissant, dès le début de la 5eme période, aux niveaux de parcs  $X_p(j)$  ( $j \in J$ ) requis par l'auto-suffisance énergétique [résultat (2)].

Toutefois, ce niveau minimum n'est pas très élevé : 6.68 MTEP/an, valeur faible en comparaison du niveau correspondant pour la détermination 4.3.1 (20.89 MTEP/an) ou à celui relatif à la période initiale (117 MTEP/an). Par ailleurs, pour les deux déterminations, le parc  $j_{en}$  atteint, au début de la 5eme période, plus de 90% du niveau requis à long terme (92% et 97%). Ces indications suggèrent que la transition pourrait être achevée avant la fin de la 5eme période : une étude avec des périodes plus courtes (par exemple de 2 ans) serait nécessaire pour préciser davantage, mais cette désagrégation temporelle aurait sans doute surtout de l'intérêt si elle était concomitante d'une désagrégation des nomenclatures techniques.

Conformément au propos de la spécification de critère imp.tot.en/min discuté ci-dessus, c'est le cheminement fourni par la détermination 4.3.1 qui est proposé comme scénario de développement des énergies renouvelable.

Ce scénario est brièvement analysé ci-après en fonction des principaux points de vue privilégiés par la micro-maquette : transformations du système productif, approvisionnement en énergie, transformation de l'habitat, emploi, échanges extérieurs et comportement financier.

Le développement du parc "prod. energ. std" a lieu pendant la 2eme période, le potentiel maximum étant atteint à la fin de cette période, tandis que celui du parc "prod. energ. nouv." a essentiellement lieu pendant les 2eme, 3eme et 4eme périodes, avec un maximum pendant la 3eme période. Les importations d'énergie décroissent régulièrement de 117.12 Mtep/an pour la première période à 20.89 Mtep/an à la 5eme période.

Le parc "machines 2" (qui est à zéro au début de la période initiale comme dans le régime de référence) est développé pendant les deux premières périodes. Le reste de l'appareil productif n'est pratiquement pas développé, mais au contraire donne lieu à diverses adaptations par des démantèlements, d'abord de faible ampleur jusqu'à la 4eme période, puis plus importants à la 5eme, cela pour parvenir à la fin de cette période à l'appareil productif, de type "post-industriel" (§ 5), visé.

La transformation de l'habitat "entret. pop. std." en habitat "entret. pop. nouv." a lieu principalement pendant les 1ere et 2eme périodes, puis accessoirement à la 5eme période. La croissance du niveau de vie est régulière, et suit sensiblement le minimum voulu [contraintes (4.6.3) et (4.6.4)]. Le sous-emploi est faible et décroissant aux 1ere et 2eme périodes (0.72 et 0.39 Emplois) ; le plein emploi est réalisé aux périodes suivantes.

Les montants des échanges extérieurs (importations ou exportations) restent autour de 200 GF73/an, un peu supérieurs aux 2eme et 3eme périodes et un peu inférieurs aux autres périodes, avec des variations ne dépassant pas 10%. Les possibilités d'emprunts et de prêts (pour provision) sont largement utilisées : les échanges sont déficitaires aux deux premières périodes, puis bénéficiaires aux deux suivantes avec constitution d'une provision (de 30 GF73, soit le ma-

ximum possible), enfin de nouveau déficitaires à la 5eme période avec utilisation de cette provision pour atteindre l'équilibre final requis.

Certaines de ces évolutions sont précisées par le TABLEAU 4.4 ci-après où les colonnes "ref." et "fin." correspondent respectivement au régime de référence et au régime à long terme fourni par la réalisation (4.2.6).

Période t	ref.	1	2	3	4	5	fin.
Année init.	1973	1974	1979	1984	1989	1994	1999
Système énergétique (modules, Mha)							
1) parc $J_{es}$	10.70	10.98	10.98	13.50	13.50	13.50	13.50
2) parc $J_{en}$	.	.	.	4.56	14.21	21.22	23.02
3) occ. sol	.	.	.	1.64	5.11	7.63	8.28
Bilans énergétiques (Mtep/an)							
4) prod. $J_{es}$	35.95	35.91	37.57	44.15	44.15	44.15	44.15
5) prod. $J_{en}$	.	.	2.95	12.29	51.01	68.34	75.06
6) imp. $i_{en}$	124.75	117.12	106.24	89.35	44.28	20.91	.
7) cons. $i_{en}$	160.70	153.03	146.76	145.79	139.44	133.38	119.21
Travail (100k emplois)							
8) sous-empl.	7.21	3.88	.	.	.	.	18.93
Niveaux de vie							
9) $N_v(t)$		1.131	1.168	1.207	1.247	1.288	
10) $N_v(t, j_{ps})$	1.1100	1.131	1.289	1.207	1.247	1.288	
11) $N_v(t, j_{pn})$		1.131	1.168	1.238	1.247	1.288	1.306
Echanges extérieurs (GF73/an)							
12) import.	185.50	196.76	219.11	212.88	193.72	180.56	69.44
13) export.	186.05	194.36	218.10	220.71	196.33	173.36	69.44

TABLEAU 4.4 - Synoptique du scénario de transition.

Dans ce tableau figurent : sur les lignes 1, 2 et 3, les niveaux de parcs  $X_p(t, j_{es})$ ,  $X_p(t, j_{en})$  et la surface  $[C_p(i_{s1}, j_{en})]X_p(t, j_{en})$  de "sol veget."  $i_{s1}$  occupée par le parc  $j_{en}$  ; sur les lignes 4, 5, 6 les apports annuels  $C_f(i_{en}, j_{es})X_f(t, j_{es})$ ,  $C_f(i_{en}, j_{en})X_f(t, j_{en})$ ,  $X_z(t, e_{en})/n_1$  du bien "energie"  $i_{en}$ ,  $n_1$  valant 5 pour les périodes 1 à 5 et 1 pour les périodes "ref." et "fin." ; sur la ligne 7, les consommations totales de ce bien, sommes des productions précédentes ; sur la ligne 8, les excédents  $Y_b(t, i_{tr})$  ([1], alinéa 4.a) du bien "travail"  $i_{tr}$  ; sur la ligne 9, les bornes des niveaux de vie requises par les contraintes (4.6.3) et (4.6.4) ; sur les lignes 11 et 10 les niveaux de vie effectifs  $N_v(t, j_{pn})$  et  $N_v(t, j_{ps})$ , qui sont définis respectivement par la relation (4.4.11) et la relation analogue avec  $j_{ps}$  mis pour  $j_{pn}$  ; enfin sur les lignes 12 et 13, les montants annuels,  $Z_d(t, s_n)$  et  $Z_r(t, s_n)$  ([1], alinéa 4.d) des importations et des exportations.

En ce qui concerne le système énergétique, les bilans obtenus peuvent être rapprochés de ceux du scénario technique figurant en annexe du PROJET ALTER

(TABLEAU A.1) : les ordres de grandeurs sont les mêmes, mais l'évolution est ici plus rapide et les consommations décroissent régulièrement au lieu de passer par un maximum. Au demeurant, les chiffres du TABLEAU 4.4 n'ont que la valeur illustrative de la micro-maquette (§ 1) : on souligne leur cohérence globale dans le cadre macroéconomique défini, "toutes hypothèses explicitées", par la réalisation Res4 et le critère  $C_{tot}$  en cause.

En ce qui concerne l'évolution du niveau de vie, on signale seulement la valeur excessive de  $Nv(t, j_{ps})$  pour  $t = 2$ , valeur supérieure à celle pour  $t = 3$ . Cette irrégularité, par rapport au minimum  $Nv(t)$  requis, correspond à un retard, dans la transformation du parc  $j_{ps}$ , lié à l'ensemble des limitations imposées : en effet, le cheminement obtenu en imposant aux contraintes (4.6.3) et (4.6.4) d'être serrées est sensiblement moins favorable.

En ce qui concerne les échanges extérieurs, on remarque que les montants des transferts financiers entre périodes (par emprunts, prêts pour provision, etc) ne représentent qu'un faible pourcentage des échanges commerciaux [cela d'ailleurs conformément aux limitations (4.3.9)]. La question se pose donc de savoir si ces transferts sont nécessaires pour qu'une transition en 5 périodes soit possible. La réponse est, de façon assez inattendue, affirmative : sans possibilités d'emprunts [i.e. avec  $W_m = 0$  dans (4.3.9)], la transition réclame 6 périodes.

Enfin, le cheminement correspondant à la spécification de critère imp.fin.en/min (détermination 4.3.2) ne diffère pas fondamentalement du précédent, en particulier en ce qui concerne l'évolution du système énergétique, laquelle y est seulement un peu accélérée. On souligne toutefois que le comportement financier y est différent en ce sens qu'il n'y est pas fait appel aux possibilités de prêts.

Dans une procédure opérationnelle où le modèle serait utilisé par une collectivité comme instrument de concertation sur son avenir ([1], alinéa 12.e ; § 5 ci-dessus), l'étude que l'on vient de présenter serait naturellement à compléter par d'autres, en particulier de multiplicité ou de variabilité ([1], alinéas 9.a), suscitées par les participants en fonction de leurs interrogations : par exemple ([1], alinéa 9.c) étude de l'influence sur la transition obtenue, possible, de variations numériques (des coefficients techniques) ou de variations structurelles (des diverses limitations, circonstancielle ou comportementales, imposées) ; ou encore études plus fines du point de vue du fonctionnement économique ([1], alinéas 9.d et 9.e) comme celle qui sera présentée dans l'Exposé no 5. Ces études relatives à la (possibilité de) transition devraient évidemment être concomitantes des études relatives au régime à long terme s'inscrivant dans la même procédure de concertation.

Toutes ces études ne pourraient avoir de valeur, de visée, opérationnelle (§ 1) que si elles concernaient des réalisations du modèle dont le descriptif soit moins agrégé que celui de la micro-maquette, en particulier en ce qui concerne les nomenclatures techniques ([1], § 2 et 8) : cet exposé voudrait motiver la mise en place des moyens nécessaires à de telles réalisations !

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] P.COURREGE - ATHEMA : modèle macroéconomique pour la prospective libre - Document multigraphié, 1985.
- [2] G.B.DANTZIG - On the reduction of an integrated energy and interindustry model to a smaller linear program - The Review of economics and statistics, 58, 1976, pp. 248-250.
- [3] D.FOUQUET, J.M.CHARPIN, M.GUILLAUME, P.A.MUET, D.VALLET - DMS, modèle dynamique multisectoriel - INSEE, coll. C, 64-65, 1978.
- [4] D.GABAY, M.GUILLAUME - Computers in economic policy-making : challenging advances in computers systems and economic models - pp. 797-802 de "information processing 80", S.H.LAVINGTON (Ed.), North Holland, 1980.
- [5] GROUPE DE BELLEVUE - PROJET ALTER ; étude d'un avenir énergétique pour la France axé sur le potentiel renouvelable - Fascicule multigraphié, Ed. Syros, 1978.
- [6] B.LAPONCHE, P.VALETTE - Le modèle énergétiques des communautés européennes ; exemple d'application des modèles MEDEE et EFOM avec des données françaises - Rapport CEA-R-5031, Commissariat à l'Energie Atomique, 1980.
- [7] F.MOUTTET, C.PLATEAU, J.L.BRILLET, J.P.MORAND - MINI DMS ENERGIE ; modèle des interactions économie-énergie - INSEE, Archives et documents, 74, 1983.





## POST SCRIPTUM - ERRATUM

La présentation détaillée des jeux de données, qui constitue une exigence méthodologique importante de la démarche présentée ici (introductions des Exposés nos 2, 3, 4), amène à poser le problème, évidemment essentiel, de la concordance entre les jeux de données théoriques, décrits formellement dans le texte, et ceux, inscrits dans les fichiers informatiques, à partir desquels sont faites les déterminations sur ordinateur.

Cette concordance pourrait et devrait donner lieu à une approche systématique consistant en un ensemble d'intermédiaires, d'inscriptions formelles et informatiques, entre les phases d'exploitation numérique au moyen du logiciel et les phases de rédaction du texte de présentation.

Le seul outil dont on a disposé dans ce sens réside dans la possibilité d'intégration dans le système de traitement de texte des fichiers de résultats fournis par le logiciel d'impression (sous la forme où ils figurent dans le fascicule annexe).

En l'absence d'une telle approche systématique, on est réduit à une vérification manuelle, à posteriori (i.e. une fois le texte écrit), qui présente, outre les risques d'erreurs fortuites, l'inconvénient consistant en ce que le texte doit être retouché, voire les calculs repris, lorsqu'apparaît une disparité sérieuse.

En conséquence, non seulement l'auteur ne peut garantir que les résultats présentés correspondent toujours exactement aux jeux de données décrits, mais encore (sic) les vérifications "finales" ont fait apparaître des disparités (sans doute de peu de portée) qui n'ont pas été corrigées. Par exemple :

- dans l'Exposé no 3, il manque, parmi les contraintes de calage (3.2.8) à (3.2.11), une contrainte analogue à (2.2.4) aux deux périodes ; l'incidence de ces contraintes est visible à la période 2 dans les résultats des déterminations 3.1 à 3.4 ;
- dans les Exposés nos 2 et 3, la répartition des coefficients de consommations finales entre fonctionnement et maintenance [Exposé no 1, point (d) du § 5] n'est pas toujours exactement celle figurant dans la présentation du jeu de référence (Exposé no 1, ANNEXE 1) ; l'incidence de cette disparité est sans doute très faible.

Vu le propos illustratif de la micro-maquette (Exposé no 1, § 1), les disparités en cause sont ici de peu d'importance. Elles seraient plus sérieuses pour une exploitation du modèle à visée opérationnelle : une élaboration du logiciel dans les sens de l'approche systématique citée ci-dessus serait alors importante.

Pour terminer ce post scriptum-erratum, on fait remarquer que le moyen le plus simple d'éviter ce problème de concordance est ... de ne pas présenter de description détaillée des jeux de données, ce qui est le cas le plus fréquent dans les travaux d'économie quantitative : l'exigence de maîtrise des hypothèses qui fait partie de la démarche de prospective libre exclut ce moyen.