

**UNE MAQUETTE DE MACROECONOMIE PHYSIQUE :
(II) QUELQUES RESULTATS NUMERIQUES;
PRESENTATION GENERALE**

P. COURREGE J. DEFLANDRE P. MATARASSO

CNRS - EQUIPE TECHNIQUE DE BASE DU PIRSEM

Octobre 1982

UNE MAQUETTE DE MACROECONOMIE PHYSIQUE :
(II) QUELQUES RESULTATS NUMERIQUES ; PRESENTATION GENERALE

P. COURREGE ⁽¹⁾, J. DEFLANDRE ⁽²⁾, P. MATARASSO ⁽²⁾

Le présent fascicule (II) et le suivant [fascicule (III)] ont pour objet de présenter les résultats d'études exploratoires effectuées avec la maquette de macroéconomie physique décrite dans le fascicule (I) ⁽³⁾. L'exposé comporte, d'une part une présentation générale des études proposées, d'autre part les listes d'ordinateur qui donnent le détail des résultats numériques correspondants. Pour faciliter les reports à ces derniers, ils figurent dans un fascicule annexe [le fascicule (III)] du texte qui suit, lequel est consacré à la présentation générale. On insiste sur le fait que ce texte est seulement une introduction à l'examen détaillé des résultats numériques figurant dans le fascicule annexe et non un exposé autonome : en particulier, une lecture isolée et hâtive des chapitres 2,3,4 où sont commentés les résultats risque d'engendrer une interprétation erronée de la démarche expérimentale proposée.

Les auteurs remercient MM R. BARA, A. FAYE et S. OURRY pour leurs précieuses contributions à l'élaboration des programmes de calcul.

Equipe technique de base du PIRSEM ⁽⁴⁾.

Paris, octobre 1982.

⁽¹⁾ CNRS ; UER de mathématiques, Université de Paris VII.

⁽²⁾ CNRS ; Programme Interdisciplinaire de Recherche sur les Sciences de l'Energie et des Matières premières (PIRSEM).

⁽³⁾ voir la note bibliographique ci-après.

⁽⁴⁾ 282, boulevard Saint-Germain, 75007 - Paris.

Sous le titre commun "une maquette de macroéconomie physique", l'exposé, est scindé en trois fascicules dont le texte qui suit constitue le second :

- (I) présentation d'un jeu de données techniques.
- (II) quelques résultats numériques ; présentation générale.
- (III) quelques résultats numériques ; listes d'ordinateur.

Les fascicules (I) et (III) seront désignés ici seulement par (I) et par (III), tandis que le texte théorique "modèles macroéconomiques pour la prospective libre" (référence [14] de (I)) sera désigné par (0).

En haut de chaque page figure l'indication du paragraphe et du ou des alinéas qu'elle contient. Les notes, en bas des pages, sont numérotées à l'intérieur des paragraphes ou des introductions de chapitres.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 - PRELIMINAIRES	5
§ 1.1 - <u>Orientation ; approche pratique des déterminations</u>	6
a) Vue d'ensemble ; déterminations et études exploratoires	6
b) Représentation des jeux de données	7
c) Documentation des listes d'ordinateur	9
§ 1.2 - <u>Systématique des études présentées</u>	14
a) Orientation	14
b) Constitution des jeux de données	15
c) Critères	18
d) Indications de lecture	19
CHAPITRE 2 - ETUDES DE VARIABILITE	23
§ 2.1 - <u>Etude n° 1 : autonomie et seuils techniques</u>	24
a) Objectif	24
b) Données	24
c) Résultats généraux	24
d) Système productif : autonomie énergétique	27
e) Système productif : autonomie alimentaire	29
f) Système productif : autonomie poussée	30
§ 2.2 - <u>Etude n° 2 : variation des ressources d'espace</u>	33
a) Objectif	33
b) Données	33
c) Résultats généraux	34
d) Système productif	36
e) Echanges extérieurs	39
§ 2.3 - <u>Etude n° 3 : rentabilité maximum dans la situation de libre échange</u>	40
a) Objectif	40
b) Données	40
c) Résultats généraux	41
d) Echanges extérieurs ; rentabilité	41
e) Examen des valeurs duales	43
CHAPITRE 3 - ETUDES D'EXTENSION	47
§ 3.1 - <u>Etude n° 4 : diversité dans la situation d'autonomie poussée</u>	48
a) Objectif	48
b) Données	48
c) Résultats généraux	49
d) Système énergétique	50
§ 3.2 - <u>Etude n° 5 : diversité dans la situation de libre échange</u>	55
a) Objectif	55
b) Données	55
c) Résultats généraux	55
d) Tendances générales des systèmes productifs et des exportations	58

§ 3.3 - <u>Etude n° 6 : exportation d'énergie renouvelable et prix de l'énergie</u>	60
a) Objectif	60
b) Données	60
c) Résultats généraux	62
d) Système de conversion de l'énergie	63
CHAPITRE 4 - ETUDES DE SENSIBILITE	67
§ 4.1 - <u>Etude n° 7 : autonomie poussée ; sensibilité aux rendements agricoles</u>	68
a) Objectif	68
b) Données	68
c) Résultats généraux	68
d) Système agro-alimentaire	69
e) Système agro-énergétique et forestier	70
f) Système énergétique	70
g) Echanges extérieurs	72
§ 4.2 - <u>Etude n° 8 : autonomie poussée ; sensibilité aux prix extérieurs</u> .	73
a) Objectif	73
b) Données	73
c) Résultats généraux	73
d) Système agro-alimentaire	74
e) Système agro-énergétique et forestier	74
f) Système énergétique	75
g) Echanges extérieurs	76
§ 4.3 - <u>Etude n° 9 : exportations spécialisées soumises à limitations ; grains</u>	77
a) Objectif	77
b) Données	77
c) Résultats généraux	77
d) Système productif	78
§ 4.4 - <u>Etude n° 10 : exportations spécialisées soumises à limitations ; produits de l'élevage</u>	80
a) Objectif	80
b) Données	80
c) Résultats généraux	80
d) Système productif	81
§ 4.5 - <u>Etude n° 11 : voisinage de la population maximum dans la situation de libre échange</u>	83
a) Objectif	83
b) Données	83
c) Résultats généraux	84
d) Examen des valeurs duales	86

CHAPITRE 1 - PRELIMINAIRES

Ce chapitre préliminaire contient des indications méthodologiques concernant, d'abord (§ 1.1) le mode de présentation des déterminations par les listes d'ordinateur, ensuite (§ 1.2) la systématique des études proposées, études dont les résultats détaillés figurent dans le fascicule (III) et qui sont commentés dans les chapitres 2,3,4 ci-après.

§ 1.1. ORIENTATION ; APPROCHE PRATIQUE DES DÉTERMINATIONS

a) Vue d'ensemble : déterminations et études exploratoires. On se propose ici de présenter les résultats d'études exploratoires basées sur l'analyse multicritère ⁽¹⁾. Dans ce sens, le descriptif (I, J) ⁽²⁾ étant fixé, on appellera détermination la suite d'opérations consistant, d'abord à spécifier un jeu de données $b = (A, d, e^S, q^M, q^S)$ ⁽³⁾ et un critère linéaire c ⁽⁴⁾, puis à calculer une solution $\hat{q}(b, c)$ (s'il en existe une) du problème d'optimisation standard associé à b et à c ⁽⁴⁾.

La mise en œuvre du modèle se réduit ainsi, formellement, à effectuer des déterminations. Cela étant, une difficulté majeure réside dans le choix des déterminations à effectuer, c'est-à-dire dans le choix des jeux de données b et des critères c à appliquer. Cette difficulté est encore plus marquée pour la maquette en cause, vu son caractère fictif ⁽⁵⁾.

Conformément aux schémas généraux ⁽¹⁾, les déterminations vont être regroupées en séries compréhensives que l'on appellera ici études (plutôt qu'études exploratoires ⁽¹⁾). Parmi ces études, on distingue les études d'extension, les études de sensibilité et les études de variabilité.

Dans une étude d'extension, le jeu de données b est fixé et on cherche à évaluer l'étendue de la multiplicité $R(b)$ des régimes compatibles avec ce jeu de données. Cette évaluation est faite ici en effectuant les déterminations correspondant à b et à divers critères c puis en comparant les régimes optimaux correspondants $\hat{q}(b, c)$ ⁽⁴⁾.

Chaque étude de sensibilité a pour but d'évaluer la variation de la multiplicité $R(b)$ en fonction de certaines des composantes de b (coefficients techniques, ressources, etc). Cette évaluation est faite ici en fixant un critère c et en examinant comment varie le régime optimal $\hat{q}(b, c)$ en fonction des composantes en cause de b . Une telle étude sera appelée étude de

⁽¹⁾ voir les alinéas 1.1.d et 1.1.e de (I), ainsi que, plus généralement, les alinéas 2.2.c et 2.2.d de (0).

⁽²⁾ alinéas 1.1.a et 1.3.a de (I).

⁽³⁾ alinéa 1.1.c de (I). ⁽⁴⁾ alinéa 1.1.e de (I).

⁽⁵⁾ point (7) de la démarcation [alinéa 1.2.a de (I)]; voir aussi l'alinéa 1.2.a ci-dessous.

variabilité lorsque les variations envisagées du jeu de données sont qualitativement importantes (substitution d'un lot de techniques à un autre, d'un type d'échanges extérieurs à un autre, etc).

La suite de ce paragraphe est consacrée à l'approche pratique des déterminations : récapitulation de la structure des jeux de données (alinéa 1.1.b), puis (alinéa 1.1.c) documentation des listes d'ordinateur telles qu'elles figurent dans le fascicule (III). Le paragraphe 1.2 concerne ensuite le regroupement des déterminations en études.

b) Représentation des jeux de données. Formellement, la spécification d'un jeu de données $b = (A, d, e^S, q^M, q^S)$ réclame, d'une part celle de la matrice de coefficients techniques $A = (A_{i,j})_{i \in I, j \in J}$ ⁽⁶⁾, d'autre part celle du jeu de données circonstanciellles (d, e^S, q^M, q^S) ⁽³⁾. Pour la pratique de la construction et de la manipulation de ces jeux, lesquelles vont jouer un rôle essentiel dans la démarche de prospective libre mise en œuvre, il va être commode d'introduire les particularités supplémentaires qui sont explicitées dans les points ci-après et que prend en compte le logiciel utilisé ⁽⁷⁾.

(1) Les matrices de coefficients techniques A utilisées sont des variantes de la matrice A^0 présentée dans (I) ⁽⁸⁾, laquelle sera appelée matrice de base. Ces variantes sont définies par la donnée de la famille $(A_{i,j})_{(i,j) \in K}$ (avec $K \subset I \times J$) des coefficients techniques modifiés, les autres coefficients étant ceux de la matrice de base. Lorsque la modification porte sur un prix extérieur [i.e. sur un coefficient $A_{i^*,j}$ pour $j \in J_{\text{imp}} \cup J_{\text{exp}}$ ⁽⁹⁾], l'usage suggère de la spécifier par un indice de prix extérieur qui constitue le facteur par lequel il faut multiplier le prix de base (i.e. le prix correspondant à la matrice de base) pour obtenir le prix modifié. Cette procédure réclame seulement de spécifier, pour chaque bien $i \in I$ échangé avec l'extérieur, l'indice π_i correspondant. On note re-

⁽⁶⁾ alinéa 1.1.b de (I). ⁽⁷⁾ voir l'alinéa 1.1.c.

⁽⁸⁾ alinéa 1.5.c, chapitres 3 et 4.

⁽⁹⁾ voir l'alinéa 1.3.e de (I).

lativement à ces indices que, d'une part, comme les prix extérieurs, ils sont supposés être les mêmes pour les importations et pour les exportations ⁽⁹⁾, d'autre part ils ne stipulent pas de modification des coefficients techniques d'équipements $A_{i\#,j}$ ($j \in J$) ⁽¹⁰⁾.

(2) Les contraintes circonstanciennes (4) [resp. (5) ⁽³⁾] n'ont, le plus souvent, pas lieu d'être contraignantes pour chaque $i \in I$ (resp. pour chaque $j \in J$). Pour alléger le calcul, il importe donc de n'introduire les majorations d'excédents (4) (resp. les minorations de niveaux $q_j^M \leq q_j$, les majorations de niveaux $q_j \leq q_j^S$) que pour certains biens $i \in I$ (resp. pour certaines activités $j \in J$). Cette procédure réclame seulement de spécifier l'ensemble I_S des biens (resp. les ensembles J_M, J_S d'activités) donnant lieu à limitations, ainsi que les excédents $\max e_i^S$ pour $i \in I_S$ (resp. les niveaux $\min q_j^M$ pour $j \in J_M$, les niveaux $\max q_j^S$ pour $j \in J_S$), les autres excédents (resp. niveaux) ne donnant pas lieu à limitation.

Dans ces conditions, les valeurs duales v_i'' (resp. w_j' et w_j'') ⁽¹¹⁾ n'ont à être envisagées que pour les biens $i \in I_S$ (resp. pour les activités $j \in J_M$ et $j \in J_S$).

(3) Afin de fixer à un niveau donné q_j^F une activité $j \in J$, il suffit de prendre $q_j^M = q_j^S = q_j^F$ ⁽¹²⁾. Cependant une procédure plus légère consiste à supprimer la variable q_j et à remplacer les quantités d_i par les quantités $d_i + A_{i,j} q_j^F$ ($i \in I$). Cette procédure est utilisée de façon préférentielle lorsque $q_j^F > 0$; elle réclame seulement de spécifier l'ensemble J_F des activités $j \in J$ à fixer et les niveaux donnés q_j^F pour $j \in J_F$, les contraintes (5) ⁽³⁾ étant sans objet pour ces activités [point (2)]. En particulier, pour mettre à zéro une activité $j \in J$, deux procédures sont alors possibles : soit inclure j dans J_S avec $q_j^S = 0$, soit inclure j dans J_F avec $q_j^F = 0$, la seconde procédure revenant à supprimer j de la nomenclature d'activités, donc la variable q_j , tandis que la première conserve la variable q_j .

Conformément aux points (1) - (3) ci-dessus, chaque jeu de données est défini, la matrice de base A^0 étant fixée, par les sept blocs-composants suivants :

⁽¹⁰⁾ voir l'alinéa 1.3.d de (I). ⁽¹¹⁾ voir l'alinéa 1.1.f de (I).

⁽¹²⁾ contraintes circonstanciennes (5), alinéa 1.1.c de (I).

Sont indiqués, de haut en bas, conformément au schéma (1) ci-dessus ⁽¹⁶⁾ :

- les dotations et prélèvements [vecteur $d = (d_i)_{i \in I}$],
- les excédents max [vecteur $e^S = (e_i^S)_{i \in I_S}$],
- les niveaux donnés d'activités [vecteur $q^F = (q_j^F)_{j \in J_F}$],
- les niveaux min d'activités [vecteur $q^M = (q_j^M)_{j \in J_M}$],
- les niveaux max d'activités [vecteur $q^S = (q_j^S)_{j \in J_S}$],
- les coefficients techniques modifiés [famille $A^\# = (A_{i,j}^\#)_{(i,j) \in K}$],
- les indices des prix extérieurs [vecteur $\pi = (\pi_i)_{i \in I}$],
- le critère [vecteur $c = (c_j)_{j \in J}$].

Pour chacun des 8 types de données précédents, figure d'abord, à droite de l'indication du type, un titre qui a été saisi avec les données ⁽¹⁷⁾ ; puis, sauf pour $A^\#$ et éventuellement pour c , figurent les données en cause à raison de trois par ligne avec indication du numéro et du nom du bien ou de l'activité correspondante, celles qui sont égales à la valeur par défaut indiquée étant omises ; en particulier les ensembles I_S , J_F , J_M , J_S sont ainsi définis par les occurrences des valeurs correspondantes. La dotation en équipements, d_i pour le bien $i = i_\#$ (n^0 44) ⁽¹⁸⁾, est indiquée à part sous la rubrique "ENVELOPPE EQUIPEMENTS", la mention "ILLIMITEE" signifiant une dotation illimitée et l'omission de la contrainte (3) correspondante ⁽³⁾. En ce qui concerne $A^\#$, les coefficients modifiés $A_{i,j}^\#$ ($(i,j) \in K$) sont présentés sous forme d'une matrice partielle, comportant des blancs pour les couples (i,j) tels que $(i,j) \notin K$. De plus, l'offre de travail ω courante (i.e. après modification éventuelle de l'offre de base) est indiquée à part, par personne active et par jour, ainsi que le nombre conventionnel N de jours de travail par an et la fraction α (en %) de la population qui est supposée active ; ces quantités sont liées à l'offre de travail annuelle totale A_{i_0, j_0} et à l'of-

⁽¹⁶⁾ alinéa 1.1.b.

⁽¹⁷⁾ ce titre permet de situer les données en cause. Par exemple pour la détermination n° 1, après "NIVEAUX DONNES ACTIVITES" le titre "AUT ENER" renvoie à un bloc de données qui est notifié par ailleurs (voir l'alinéa 1.2.b).

⁽¹⁸⁾ alinéas 1.3.a, 1.3.b et 1.3.d de (I).

fre annuelle de travail fictif Ω_f du module de population (de 100 personnes) par la formule :

$$(2) \quad A_{i_0, j_0} = \omega \times \frac{\alpha}{100} \times N + \Omega_f \quad (19)$$

Enfin, pour certains critères ⁽²⁰⁾, la liste des valeurs des coefficients est remplacée par une expression formelle ⁽²¹⁾.

(2) La solution du problème d'optimisation standard en cause ⁽⁴⁾, s'il en existe une, figure ensuite à la section (b). Le mode du résultat est d'abord indiqué (en particulier l'unicité éventuelle ⁽²²⁾) ainsi que la valeur absolue du critère à l'optimum et l'erreur maximum décelée lors de la vérification des relations de complémentarité (15) - (19) ⁽²³⁾. Puis les niveaux d'activité \hat{q}_j ($j \in J$) constituant la solution obtenue sont présentés en trois colonnes (sur une page). La colonne de gauche indique l'effectif de la population [calculé comme valeur entière du produit $100 \times \hat{q}_{j_0}$ ⁽²⁴⁾] et les niveaux des activités intérieures ($n^{05} 1 - 48$), tandis que les deux colonnes de droite indiquent les niveaux des activités d'importation et d'exportation, ces niveaux étant exprimés en quantités échangées [colonne "QUANTITES"] ⁽²⁵⁾ et en valeurs (en devise) aux prix extérieurs courants [colonne "VALEURS (KF)"]. Les activités pour lesquelles le niveau a été donné (resp. coïncide avec un niveau min ou un niveau max prescrit) sont repérées par l'indication "DONNE" (resp. N.MIN ou N.MAX) à droite de la valeur. Les niveaux des activités de banalisation de sol ($n^{05} 97, 98$) manquent ici : ils figurent avec les in-

⁽¹⁹⁾ voir, dans (I), l'alinéa 1.3.c ainsi que, au chapitre 4, la fiche technique de l'activité "POPULATION" ($n^0 96$) et les notes 7, 8 et 10.

⁽²⁰⁾ "Travail minimum" ou "Marge d'échanges extérieurs maximum", par exemple ; voir l'alinéa 1.2.c.

⁽²¹⁾ PR est mis pour π dans ces expressions.

⁽²²⁾ l'un des 4 modes standard apparaît : "OPTIMUM UNIQUE", "OPTIMUM NON UNIQUE", "PAS D'OPTIMUM", "PAS DE SOLUTION".

⁽²³⁾ alinéa 1.1.f de (I) ; l'erreur max est affectée du signe - si l'une des contraintes duales (13) n'est pas vérifiée.

⁽²⁴⁾ le module de l'activité "POPULATION", j_0 , est de 100 têtes ; voir, dans (I), l'alinéa 1.3.c et les fiches $n^0 96_0$ aux chapitres 3 et 4.

⁽²⁵⁾ la quantité échangée vaut 1000 fois le niveau de l'activité correspondante ; voir l'alinéa 1.3.e de (I).

dications complémentaires [section (d); point (4) ci-après] par les quantités de sols banalisés.

(3) Les écarts et valeurs duales standard correspondant au régime optimal \hat{q} en cause sont présentés dans les deux tableaux de dualité [sections (c) et (d)]. Le "TABLEAU DE DUALITE (PRIX)" concerne les contraintes (3) et (4) ⁽³⁾ : dans les colonnes "ECARTS INF" et "ECARTS SUP" figurent, avec les biens en lignes ⁽²⁶⁾, respectivement les écarts $e_i = \sum_{j \in J} A_{i,j} \hat{q}_j + d_i$ ($i \in I$) et $e_i^S - e_i$ ($i \in I_S$) ; dans la colonne de droite "VALEURS DUALES" figurent les valeurs duales standard réduites $v_i = v_i' - v_i''$ ($i \in I$) ⁽¹¹⁾ ; dans la colonne "PRIX INT (KF)" figurent ces mêmes valeurs rapportées à la valorisation extérieure, c'est-à-dire les quotients v_i/v_* ($i \in I$), où v_* (appelé "COEF DE CONV." en haut du tableau) est défini par $v_* = v_i$ si $v_i > 2.10^{-6}$ et $v_* = 1$ sinon, i_* désignant le bien "devises" (n°44) ^{(27)*} ; enfin, les prix extérieurs courants sont rappelés, pour comparaison, dans la colonne "PRIX EXT (KF)" avec indication, à leur droite, des biens effectivement échangés (IMP ou EXP) dans le régime \hat{q} en cause. De façon analogue le "TABLEAU DE DUALITE (TRANSFERTS)" concerne les contraintes (5) ⁽³⁾ : dans les colonnes "ECARTS INF" et "ECARTS SUP" figurent, avec les activités concernées en lignes, respectivement les écarts $\hat{q}_j - q_j^M$ ($j \in J_M$) et $q_j^S - \hat{q}_j$ ($j \in J_S$) ; dans la colonne de droite figurent les valeurs duales standard réduites $w_j = w_j' - w_j''$ ($j \in J_M \cup J_S$) ⁽¹¹⁾ ; enfin, dans la colonne "TRANSFERTS" figurent ces mêmes valeurs rapportées à la valorisation extérieure, c'est-à-dire les quotients w_j/v_* ($j \in J_M \cup J_S$), où v_* est défini comme ci-dessus. Les valeurs duales (standard ou rapportées à la valorisation extérieure) ne seront utilisées ici que comme indicateurs quantitatifs de serrage des contraintes : leur interprétation en termes monétaires sera étudiée ultérieurement et, à ce stade du travail, les tableaux de dualité sont essentiellement une explicitation des relations de complémentarité (15) - (18) ⁽¹¹⁾.

(4) Les indications complémentaires qui terminent la présentation de la détermination [dans la même section (d) que le second tableau de dualité] fournissent d'abord des renseignements généraux : le "SOL TOTAL DISPONIBLE"

⁽²⁶⁾ la ligne correspondant au bien "EQUIPEMENTS" (n°44) est omise si l'enveloppe d'équipements est illimitée [point (1)].

⁽²⁷⁾ alinéas 1.3.a, 1.3.b et 1.3.e de (I).

est la somme $\sum_{i \in I_S} d_i$ où I_S est l'ensemble des types de sols (biens n^{os} 1-3) ;

le "SOL TOTAL UTILISE" est la somme $S_u = \sum_{i \in I_S} \sum_{j \in J_u} |A_{i,j}| \hat{q}_j$ où J_u est

l'ensemble des activités autres que de banalisation du sol (activités n^{os} 97, 98) ; cette somme est suivie de sa décomposition selon les trois types de sols (quantités $\sum_{j \in J_u} |A_{i,j}| \hat{q}_j$ pour $i \in I_S$) et des superficies (de sol

agricole et de sol forestier) banalisées, lesquelles sont les niveaux des activités de banalisation du sol. Ensuite, figure la densité de population \hat{q}_{j_0} / S_u (rapportée au sol total utilisé) ainsi que ("TRAV.TOT/TETE AN") le travail $\hat{\omega}$ nécessité par personne active et par jour, lequel est calculé par la formule,

$$(3) \quad \hat{\omega} = [(\sum_{j \neq j_0} |A_{i_0,j}| \hat{q}_j / \hat{q}_{j_0}) - \Omega_f] / (\frac{\alpha}{100} \times N) ,$$

où α , N et Ω_f sont définis comme ci-dessus ⁽²⁸⁾. Enfin, sont indiqués quelques ratios dont les définitions vont de soi ainsi que la marge d'échange extérieur ("MGE ECH. EXT." = $-\sum_{j \in J} A_{i_*,j} \hat{q}_j$) et le volume total d'équipements ("EQUIPEMENTS TOT." = $-\sum_{j \in J} A_{i_{\#},j} \hat{q}_j$):

⁽²⁸⁾ point (1) ; on note que, d'après les formules (2) et (3) définissant ω et $\hat{\omega}$, la contrainte (3) pour $i = i_0$ [alinéa 1.1.c de (I)] équivaut à $\hat{\omega} \leq \omega$.

§ 1.2. SYSTÉMATIQUE DES ÉTUDES PRÉSENTÉES

a) Orientation. Les déterminations qui figurent en annexe (¹) sont la base numérique d'une expérimentation, relative à la maquette en cause, sur la démarche de prospective libre qui est constituée d'études utilisant l'analyse multicritère (²). Ces études, et par conséquent les déterminations proposées, sont évidemment marquées par un arbitraire important concernant le choix des jeux de données et des critères, cet arbitraire étant, en grande partie, dû à l'orientation expérimentale et au caractère fictif de la maquette (³).

Cependant ces choix n'ont pas été faits au hasard : ils relèvent d'un plan d'expériences ayant pour but, d'une part de tester la cohérence structurelle de la maquette (⁴) par l'examen des régimes qu'elle fournit dans des situations réalistes, d'autre part de faire apparaître la diversité des régimes dont elle est susceptible de permettre l'approche quantitative (⁵), enfin de rôder divers modes d'analyse et de présentation des déterminations.

La systématique utilisée pour ordonner l'expérimentation comporte les trois aspects complémentaires suivants : d'une part le regroupement des déterminations en études (²) qui sont commentées en tant que telles (⁶), d'autre part la construction des jeux de données à partir de blocs-composants interchangeables dont chacun a une signification technico-économique, enfin l'utilisation quasi-exclusive de critères intrinsèques.

Conformément à la démarcation (⁷), les jeux de données sont choisis pour permettre plus particulièrement d'étudier la variabilité des régimes compatibles en fonction :

- des ressources territoriales (essentiellement ressources en sols) ;

(¹) fascicule (III). (²) alinéa 1.1.a ci-dessus.

(³) point (7) de la démarcation [alinéa 1.2.a de (I)].

(⁴) spécialement celle du jeu de données techniques représenté par la matrice de base.

(⁵) cette diversité, qui est liée au caractère sous déterminé du modèle, est un élément essentiel de la prospective libre ; voir les § 1.1, 1.2, 1.3 de (0) et l'alinéa 1.1.d de (I).

(⁶) chapitre 2, 3, 4 ci-dessous.

(⁷) alinéa 1.2.a de (I).

- des techniques disponibles (essentiellement techniques de production d'énergie) et des rendements agricoles ;
- des contraintes d'échanges extérieurs, spécialement dans une perspective d'autonomie locale.

Ces trois types de facteurs sont croisés dans les études et appréhendés avec divers critères, mais en faisant jouer un rôle privilégié au critère de maximisation de la population.

Par ailleurs, on note que les déterminations présentées ici ne constituent qu'un échantillon restreint parmi les centaines d'essais effectués.

L'objet de ce paragraphe est d'abord de définir les éléments [blocs de données (alinéa 1.2.b) et critères (alinéa 1.2.c)] intervenant dans les études proposées et établissant les liens entre elles. On situe aussi par quelques remarques (alinéa 1.2.d) ces études et les commentaires qui en sont faits aux chapitres 2, 3, 4.

b) Constitution des jeux de données. La spécification d'un jeu de données réclame celle de chacun des sept blocs composants d , e^S , q^F , q^M , q^S , $A^\#$, π ⁽⁸⁾. Pour chacun de ces blocs, on examine ci-après les diverses options envisagées.

(1) Dotations et prélèvements [vecteur $d = (d_i)_{i \in I}$]. Les quantités d_i sont prises nulles pour tous les biens $i \in I$ sauf pour les ressources primaires $i \in I_R$ (biens n^{os} 2, 3, 44) et le bien "devises" i_* (n^o 43) ⁽⁹⁾. Le sol total disponible (somme $\sum_{i \in I_S} d_i$ ⁽¹⁰⁾) est toujours pris égal à 20.000 Hectare, cela en conformité avec le point (1) de la démarcation ⁽⁷⁾, avec en général 70% de sol agricole (14.000 Hectare). Un prélèvement fictif de 1000 KF en devises est imposé pour des raisons de calcul ⁽¹¹⁾.

⁽⁸⁾ alinéa 1.1.b et point (1) de l'alinéa 1.1.c.

⁽⁹⁾ alinéas 1.3.a et 1.3.b de (I).

⁽¹⁰⁾ point (4) de l'alinéa 1.1.c.

⁽¹¹⁾ l'algorithme du simplexe utilisé fonctionne parfois mal lorsque le système de contraintes admet la solution nulle.

(2) Excédents maximum [vecteur $e^S = (e_i^S)_{i \in I_S}$]. En général, on n'introduit pas de limitation (i.e. $I_S = \emptyset$) ; exceptionnellement un petit nombre de biens donnent lieu à limitation pour éviter des excédents parasites.

(3) Activités fixées [vecteur $q^F = (q_j^F)_{j \in J_F}$]. Seule l'activité "POPULATION" (n^0 96) est parfois fixée à un niveau non nul (ce qui équivaut à fixer l'effectif de la population (¹²)). Par contre, on introduit divers blocs d'activités mises à zéro (i.e. fixées au niveau zéro (¹³)). Ces blocs concernent les échanges extérieurs et caractérisent, soit divers types d'autonomie (par mise à zéro d'activités d'importation), soit divers types d'exportations spécialisées (par mise à zéro d'activités d'exportation). Plus précisément :

- dans le bloc "autonomie poussée" ne sont laissées libres que les activités d'importation des biens qui ne sont pas susceptibles d'être produits localement (activités n^{0S} 65, 68-71, 75), les autres (activités n^{0S} 49-64, 66, 67, 72-74) étant donc mises à zéro ;
- dans le bloc "autonomie alimentaire" sont mises à zéro les activités d'importation de biens agricoles ou alimentaires susceptibles d'être produits localement (activités n^{0S} 53-59, 61-64, 66), avec exception pour la biomasse (activité (n^0 60) ;
- dans le bloc "autonomie énergétique" sont mises à zéro, d'une part les activités d'importation d'énergies distribuées (activités n^{0S} 49-52) ou de fertilisants (activité n^0 67), d'autre part les activités d'importation de biens agricoles susceptibles de concourir à une production d'énergie (activités n^{0S} 56, 59, 60, 72) ;
- dans les blocs "exportations spécialisées", toutes les activités d'exportation sont mises à zéro sauf certaines d'entre elles, en l'occurrence celle de grains d'alimentation animale (activité n^0 83) ou celles des produits de l'élevage (activités n^{0S} 88, 89, 90).

(4) Niveaux min. d'activités [vecteur $q^M = (q_j^M)_{j \in J_M}$]. Seule l'activité

(¹²) alinéa 1.3.c de (I).

(¹³) ce qui revient à éliminer ces activités de la nomenclature J [point (3) de l'alinéa 1.1.b].

"POPULATION" (n^0 96) donne lieu à un niveau min. non nul : le plus souvent niveau non limitatif de 10 unités pour des raisons de calcul ⁽¹¹⁾ ; parfois niveau effectivement limitatif avec les critères restrictifs.

(5) Niveaux max. d'activités [vecteur $q^S = (q_j^S)_{j \in J_S}$]. Des niveaux max. non nuls sont introduits en liaison avec les blocs d'exportations spécialisées [point (3) ci-dessus] pour limiter les quantités exportées. Par ailleurs, des activités ou blocs d'activités peuvent être mises à zéro en leur prescrivant des niveaux max nuls. Les blocs en cause concernent la spécification des techniques disponibles par introduction de niveaux max. nuls pour les activités représentant des techniques considérées comme non disponibles ⁽¹⁴⁾. Plus précisément, on introduit les trois blocs suivants :

- dans le bloc "techniques 1" ne sont supposées disponibles que les techniques utilisant les combustibles solides et la traction animale (cependant avec usage de l'électricité), ce qui signifie que sont mises à zéro par un niveau max. nul ⁽¹⁴⁾ les activités n^{OS} 22-26, 28-30, 32, 33, 35-37);

- dans le bloc "techniques 2" ne sont supposées non disponibles que les techniques correspondant à la conversion moderne de l'énergie, ce qui signifie que sont mises à zéro par un niveau max. nul ⁽¹⁴⁾ les activités n^{OS} 24-26, 30, 32) ;

- dans le bloc "techniques 3" toutes les techniques correspondant aux activités de production intérieure représentées dans la nomenclature sont supposées disponibles.

Enfin l'exportation de travail (activité n^0 95) est parfois mise à zéro par un niveau max. nul.

(6) Coefficients techniques modifiés [famille $A^\# = (A_{i,j}^\#)_{(i,j) \in K}$]. Des baisses du rendement des activités agricoles de 10%, 20% et 50% sont représentées par trois blocs dans lesquels les coefficients modifiés $A_{i,j}^\#$ valent respectivement $0,9 \times A_{i,j}^0$, $0,8 \times A_{i,j}^0$ et $0,5 \times A_{i,j}^0$ pour les activités $j \in J$ de n^{OS} 3-12 et pour les productions principales (biens n^{OS} 12-18) de ces activités ainsi que pour leurs productions de biomasse industrielle (bien n^0 19).

⁽¹⁴⁾ Pour des raisons de calcul, les niveaux max en cause sont fixés à 10^{-4} plutôt qu'à zéro.

(7) Indices des prix extérieurs [vecteur $\pi = (\pi_i)_{i \in I}$]. Des augmentations avec les indices 2, 4, 6, 8 pour les biens nécessairement importés (biens n^{os} 24, 29-33, 38) sont représentés par 4 blocs pour lesquels les indices π_i valent respectivement 2, 4, 6, 8 pour les biens i de n^{os} 24, 29-33, 38 et 1 pour les autres biens. On note que, pour ces blocs, les coefficients techniques d'équipement $A_{i\#,j}$ ($j \in J$) sont ceux de la matrice de base ⁽¹⁵⁾.

c) Critères. Les critères linéaires $c = (c_j)_{j \in J}$ [alinéa 1.1.e de (I)] suivants sont utilisés, les notations étant celles du fascicule (I) [alinéa 1.3.b] :

- "Population maximum", $c_{j_0} = -1$, $c_j = 0$ pour $j \neq j_0$;
- "Marge d'échanges extérieurs maximum", $c_j = -A_{i_*,j}$ pour tout j ;
- "Exportations d'électricité maximum",

$$c_{j_z} = -A_{i_*,j_z} , \quad c_j = 0 \quad \text{pour } j \neq j_z ,$$

où j_z désigne l'activité "exportations électricité" (n° 76) ;

- "Population minimum", $c_{j_0} = 1$, $c_j = 0$ pour $j \neq j_0$;
- "Travail minimum", $c_{j_0} = 0$, $c_j = -A_{i_0,j}$ pour $j \neq j_0$;
- "Equipements minimum", $c_j = -A_{i\#,j}$ pour tout j ;
- "Energie consommée minimum",

$$c_j = - \sum_{i \in I_E} \alpha_i A_{i,j} \quad \text{pour } j \notin J_E , \quad c_j = 0 \quad \text{pour } j \in J_E ,$$

où, d'une part I_E désigne l'ensemble des énergies utilisables (biens n^{os} 5-8) et J_E l'ensemble des activités de production d'énergie (activités n^{os} 20-37).

⁽¹⁵⁾ voir le point (1) de l'alinéa 1.1.b.

d'autre part les coefficients α_i ($i \in I_E$), exprimés en TEP par unité des biens en cause, valent 0,44 et 0,67 pour les biens "ELECTRICITE" et "FORCE MOTR." puis $1,538 = 1/0,65$ pour les biens "CHALEUR MT" et "CHALEUR BT";

- "Eau consommée minimum", $c_{j_e} = 0$, $c_j = -A_{i_e,j}$ pour $j \neq j_e$,

où i_e désigne le bien "EAU DISTR." ($n^0 27$) et j_e l'activité "POMPAGES DISTR.EAU" ($n^0 19$);

- "Sol utilisé minimum",

$$c_j = - \sum_{i \in I_S} A_{i,j} \text{ pour } j \notin J_B, \quad c_j = 0 \text{ pour } j \in J_B,$$

où I_S est l'ensemble des trois types de sol (biens $n^{0S} 1, 2, 3$) et J_B l'ensemble des activités de banalisation de sol (activités $n^{0S} 97, 98$).

On note que les trois premiers critères, de type extensif, sont valables quel que soit le jeu de données, les contraintes de sol [contraintes (3) ⁽¹⁶⁾ pour $i \in I_S$] assurant alors en général l'existence d'un régime compatible optimum non nul dès qu'il existe un régime compatible non nul ⁽¹⁷⁾. Par contre, les autres critères, de type restrictif, réclament au moins une contrainte de minoration (5) ⁽¹⁶⁾, avec $q_j^M > 0$, sous peine d'obtenir comme optimum le régime nul; cette condition est assurée, dans les déterminations présentées, via l'activité "POPULATION" j_0 .

d) Indications de lecture. On termine ce chapitre préliminaire en complétant les indications méthodologiques qui y sont données par les quelques remarques ci-après, remarques qui ont pour but de marquer les limites et de prévenir les erreurs d'interprétation des commentaires accompagnant les études présentées aux chapitres 2, 3, 4.

(1) Les commentaires sont destinés à accompagner l'étude détaillée des

⁽¹⁶⁾ alinéa 1.1.c de (I).

⁽¹⁷⁾ en effet, ces contraintes entraînent que l'ensemble $R(b)$ des régimes compatibles est borné dans \mathbb{R}^J , au moins si les coefficients $A_{i,j}$ pour $i \in I_S$ sont ceux de la matrice de base A^0 .

listes d'ordinateur (¹⁸) et non à en constituer des résumés faciles à lire ! Un gros travail de programmation a été fait pour sortir en clair chaque détermination : le caractère explicite de ces sorties doit contribuer à la maîtrise du modèle au même titre que le soin mis à l'interprétation du formalisme (¹⁹), entre autres via les fiches descriptives et les fiches techniques (²⁰).

(2) Les études sont présentées assez systématiquement en termes concrets, comme si les déterminations en cause résultaient de mesures faites sur des systèmes réels dont il s'agirait d'élucider le fonctionnement... alors qu'elles résultent d'une synthèse "in vitro", sur ordinateur, au moyen du modèle. Ce mode d'expression ne doit pas introduire de doute concernant la nature "synthétique" des déterminations ; elle reflète le caractère réaliste des jeux de données retenus qui fait que les régimes obtenus peuvent être discutés comme s'ils étaient des descriptions de systèmes réels : dans la manipulation de cette maquette, un équilibre est bien difficile à trouver entre le réaliste, l'expérimental... et le ludique.

(3) Pour la comparaison des régimes intervenant dans une même étude basée sur la variation d'un paramètre, un langage évolutif, imagé, est parfois employé (²¹). Cet usage ne doit pas prêter à confusion : les séries de régime présentées et discutées ne constituent pas des cheminements au sens donné à ce terme dans (0) (²²) et le modèle statique en cause ne permet pas d'études évolutives (²³).

(4) Conformément à l'orientation concrète des études proposées [points (2) et (3) ci-dessus], on n'a pas cherché, pour l'analyse des déterminations, à utiliser les outils fins qu'offre l'arsenal de la programmation linéaire. En particulier : d'une part les études de sensibilité (chapitre 4) sont abor-

(¹⁸) grâce à la documentation figurant au § 1.1 (alinéa 1.1.c).

(¹⁹) voir à ce sujet le § 1.4 et le chapitre 2 (en particulier l'introduction) de (0).

(²⁰) chapitres 2 et 4 de (I).

(²¹) voir par exemple les alinéas 2.1.d, 2.2.d et 4.1.e ci-dessous.

(²²) alinéa. 2.3.c.

(²³) alinéas 2.3.c, 7.2.b, 7.2.c de (0).

dées simplement en faisant varier de façon discrète les données concernées, en particulier sans faire appel aux techniques du paramétrage ⁽²⁴⁾ ; d'autre part, les valeurs duales, bien que figurant sur les listes d'ordinateurs ⁽²⁵⁾, ne sont pas interprétées systématiquement ou ne le sont que comme indicateurs de serrage des contraintes ⁽²⁶⁾. La programmation linéaire n'est qu'un auxiliaire de calcul dans la démarche que l'on cherche à illustrer ici.

(5) On rappelle enfin le caractère expérimental et partiel des études présentées ⁽²⁷⁾. La démarche de prospective libre que l'on a en vue ne se limite évidemment pas à ce type d'analyses multicritère statique : moyennant une élaboration convenable de cette maquette ⁽²⁸⁾, on présentera dans des publications ultérieures, d'une part des exercices de prospective libre se rapprochant davantage des schémas présentés au § 7.2 de (0), d'autre part une réflexion sur le calcul des valeurs ressources, réflexion permettant en particulier de clarifier l'interprétation des valeurs duales pour ce type de modèle.

⁽²⁴⁾ voir par exemple la référence [67] de (I), tome 1, chapitre 7.

⁽²⁵⁾ point (3) de l'alinéa 1.1.c.

⁽²⁶⁾ voir la fin de l'alinéa 1.1.f de (I) ainsi que le point (5) ci-après.

⁽²⁷⁾ alinéa 1.2.a ci-dessus et alinéa 1.4.a de (I).

⁽²⁸⁾ en particulier pour ce qui est du traitement des équipements et des stocks (voir l'alinéa 1.4.b de (I)).

CHAPITRE 2 - ETUDES DE VARIABILITE

Ce chapitre contient la présentation des études n^{OS} 1, 2, 3, lesquelles correspondent respectivement aux déterminations n^{OS} 11 à 19, n^{OS} 21 à 29 et n^{OS} 30 à 39 figurant dans le fascicule (III).

Les études n^{OS} 1 et 2 concernent le problème de l'autonomie locale dans une grande variété ⁽¹⁾ de situations, tant du point de vue des conditions d'échanges que des techniques ou des ressources territoriales disponibles. Par contre l'étude n^{OS} 3 concerne la variété ⁽¹⁾ des situations de libre échange axées sur la rentabilité maximum.

⁽¹⁾ Voir ce qui concerne les études de variabilité à l'alinéa 1.1.a.

§ 2.1. ÉTUDE N°1 : AUTONOMIE ET SEUILS TECHNIQUES

a) Objectif. Cette étude constitue le support quantitatif d'une réflexion concernant l'influence de la nature des techniques disponibles sur les possibilités d'autonomie, en particulier énergétique et alimentaire, d'un système productif de type local rural. Elle correspond à certaines des préoccupations qui ont été à l'origine de la maquette ⁽¹⁾ et constitue un préliminaire aux études n^{OS} 2, 4, 6, 7, 8 ci-après qui concernent le problème de l'autonomie locale.

b) Données. La série comporte les 9 jeux de données obtenus en croisant les trois blocs de techniques disponibles (techniques 1, 2, 3) avec les trois blocs d'autonomie (autonomie énergétique, alimentaire, poussée) sans exportation de travail ⁽²⁾. Les données modulaires (y compris les prix extérieurs) sont celles de la matrice de base et les dotations sont standard (14 000 hectares de sol agricole et 6 000 hectares de sol forestier) ⁽³⁾. On utilise le seul critère "population maximum" ⁽⁴⁾.

Les 9 déterminations correspondant à ces données portent les numéros 11 à 19.

c) Résultats généraux. Le tableau 1 qui suit donne la population maximum en fonction des diverses conditions croisées.

Ce tableau met en évidence les faits suivants :

- l'autonomie énergétique autorise une population maximum beaucoup plus importante avec les techniques 3 qu'avec les techniques 1 et 2;

⁽¹⁾ voir l'alinéa 1.2.b de (I).

⁽²⁾ points (3) et (5) de l'alinéa 1.2.b.

⁽³⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.b. et point (1) de l'alinéa 1.2.b.

⁽⁴⁾ alinéa 1.2.c.

- la population maximum compatible avec l'autonomie alimentaire reste la même avec les techniques 3 que ce qu'elle était avec les techniques 2;
- la population maximum calculée avec l'autonomie poussée croît assez régulièrement à chaque seuil technologique.

Echanges Technique	autonomie énergétique	autonomie alimentaire	autonomie poussée
1	15.130	25.363	6.966
2	26.569	44.055	11.725
3	134.426	44.055	20.553

TABLEAU 1 (effectif de la population max.)

Le tableau 2 rapporte les populations maximum obtenues avec l'autonomie énergétique et l'autonomie alimentaire à celle de l'autonomie poussée normée à la valeur 100.

Echanges Technique	autonomie énergétique	autonomie alimentaire	autonomie poussée
1	217	364	100
2	226	375	100
3	654	214	100

TABLEAU 2 (%)

Il montre que le rapport des populations maximum respectives des différents modes d'autonomie est très peu modifié par le passage des techniques 1 aux techniques 2. En revanche, le passage aux techniques 3 modifie ce rapport de façon importante. On souligne ici le fait qu'avec les techniques 1 et 2, les biens énergétiques et les biens alimentaires sont produits par des modes de production agricole classique avec ou sans traction mécanique. Avec les techniques 3, en revanche, les activités agricoles restent les

mêmes mais des activités énergétiques plus performantes sont disponibles et le rapport des différents modes d'autonomie est donc fortement modifié.

Le tableau 3 donne le temps de travail par personne active et par jour ⁽⁵⁾ en fonction des diverses conditions croisées; le tableau 4 donne le volume d'équipements par tête et la marge d'échanges extérieurs par tête en KF.

Echanges Technique	autonomie énergétique	autonomie alimentaire	autonomie poussée
1	4,53	4,78	7,59
2	3,17	3,58	4,30
3	5,55	3,58	4,32

TABLEAU 3 (Unité : Heure de travail)

Echanges Technique	autonomie énergétique	autonomie alimentaire	autonomie poussée
1	81,01 5,90	130,39 10,41	119,68 3,53
2	82,30 5,41	78,22 8,49	110,10 3,79
3	111,39 10,38	78,22 8,49	109,81 7,12

TABLEAU 4 (Unité : KF)

⁽⁵⁾ Point (4) de l'alinéa 1.1.c.

Ces tableaux montrent que l'ordre de classement par indicateurs que l'on pourrait effectuer dans le cadre des trois techniques ne se conserve pas d'une technique à l'autre. Le critère population maximum impose, en effet, à chaque régime une structure particulière. Des idées pouvant paraître évidentes telles que l'augmentation du volume d'équipements ou la baisse du temps de travail avec l'élévation du niveau technique ne sont pas vérifiées.

d) Système productif : autonomie énergétique. On rappelle que les données d'échange de cette autonomie résultent du parti pris de l'absence d'importation concernant ⁽⁶⁾ :

- les biens énergétiques directs (biens n^{os} 5, 9, 10, 11),
- les biens à fort contenu énergétique (fertilisants; bien n^o 28),
- les biens qui permettent une importation indirecte d'énergie (via l'alimentation des chevaux utilisés par les unités de traction animale ou le bois scié susceptible d'être converti en biomasse industrielle par la menuiserie; biens n^{os} 15, 18, 19, 35).

Le tableau 5 permet de se faire une idée de la façon dont sont satisfaits les besoins intérieurs en énergie. Il donne la surface de territoire par tête mobilisée par la production d'énergie :

technique	1	2	3
sol total à usage énergétique primaire	17 865	16 651	9064
sol par tête à usage énergétique	1,18	0,62	0,067

TABEAU 5 (Unité : Hectare)

Ce tableau présente une évaluation grossière de la surface de sol mobilisée par la production d'énergie : le sol total à usage énergétique primaire cumule les consommations de sol des activités concernant la

⁽⁶⁾ voir le point (3) de l'alinéa 1.2.b.

première conversion de l'énergie solaire (cultures de biomasse et capteurs divers). En ce qui concerne l'exploitation forestière, la productivité en biomasse a été augmentée de la production de sciure des menuiseries (qui utilisent le bois scié), la proportion de surface d'exploitation forestière attribuée à cette biomasse globale étant calculée au prorata du rapport de masse existant entre cette biomasse et le bois scié.

Le tableau 5 fait apparaître que le passage ⁽⁷⁾ des techniques 1 et 2 aux techniques 3 représente la passage d'un mode extensif de captation de l'énergie solaire par le biais des plantations et cultures énergétiques à un mode intensif fondé sur l'utilisation des capteurs non-photosynthétiques.

Le tableau 6 présente la situation de la production de force motrice :

technique	1	2	3
pourcentage du sol à usage énergétique mobilisé par la production de force motrice mobile	26,8	23	89
surface de sol par tête mobilisée par la production de force motrice mobile (HA)	0,316	0,14	0,059

TABLEAU 6

Ce tableau donne le pourcentage de sol primaire utilisé pour la production des aliments nécessaires aux animaux de trait ou celle de la biomasse requise par la production des combustibles consommés par les tracteurs. La surface de sol mobilisée par tête décroît en raison de l'efficacité croissante du système de conversion des biomasses en force motrice mobile. On y observe le passage ⁽⁷⁾ des animaux de trait aux tracteurs (des techniques 1 aux techniques 2), puis le passage de la production de combustibles gazeux et solides aux combustibles liquides (des techniques 2 aux techniques 3).

⁽⁷⁾ Voir le point (3) de l'alinéa 1.2.d.

Le pourcentage de sol mobilisé par la force motrice mobile dans le cadre des techniques 3 montre que la production de combustible qui reste liée à un processus biologique devient prépondérante en surface par rapport aux productions des autres vecteurs énergétiques qui sont assurés par des capteurs non photosynthétiques dont le rendement est supérieur.

Si le pourcentage du sol occupé pour les besoins de la force motrice mobile est plus faible avec les techniques 2 qu'avec les techniques 1, c'est que le rendement de conversion des activités de traction a cru plus vite que le rendement global des activités énergétiques par rapport au sol.

Comment le niveau atteint par la population maximum peut-il être relié à ces considérations ? Ce qui limite ici la population, c'est l'équilibre qui s'instaure dans la répartition du sol entre les usages à des fins d'échange et les usages à des fins de productions intérieures, en particulier énergétiques.

Pour les techniques 1 et 2, l'équilibre des échanges s'effectue par exportations de fabricats en bois. Ces exportations sont supérieures avec les techniques 2 en raison du sol libéré par une meilleure productivité énergétique.

Avec les techniques 3, on n'exporte plus de fabricats en bois mais on en importe et on exporte des légumes; cependant la terre forestière est entièrement occupée par des exploitations forestières productrices de bois scié. Ce bois scié, qui on le rappelle ne peut être importé, est entièrement destiné à l'entretien du bâtiment; ne pouvant être produit en quantité supérieure, c'est lui qui limite le niveau atteint par la population et interdit par ailleurs la production de fabricats en bois à usage intérieur ou pour l'exportation. Dans ces deux conditions, le facteur limitant est la surface de sol forestier, ainsi que le confirme la valeur duale élevée de ce sol.

e) Système productif : autonomie alimentaire. On rappelle que l'on s'est ici fixé comme objectif de produire sur la surface de sol définie par les ressources, l'ensemble des produits alimentaires nécessaires à la population, à l'exception des produits alimentaires exogènes qui par définition, sont importés (6).

Le tableau 7 présente des données relatives à l'utilisation du sol :

technique	1	2	3
sol total utilisé (HA)	15246	20000	20000
sol agricole utilisé (HA)	14000	14000	14000
sol forestier utilisé (HA)	145,31	4263,84	4263,84
sol inculte (HA)	1101,6	1736,16	1736,16
part du sol agricole à usage de traction, à l'exception des litières	42%	0%	0%

TABLEAU 7

Les faits significatifs sont la non-utilisation de la totalité du sol pour le régime correspondant aux techniques 1 et l'absence de variation entre les techniques 2 et les techniques 3.

Avec les techniques 1, si tout le sol agricole est mis en culture, seule une faible part du sol forestier est exploitée. Le sol agricole est en effet l'objet d'une compétition entre la production alimentaire destinée à la population et celle requise par les animaux de trait; on est donc dans une situation où la limitation de la force motrice mobile disponible ne permet pas l'exploitation de tout le sol forestier. L'autonomie alimentaire impose ainsi dans le cas des techniques 1 une autonomie énergétique partielle pour la production de force motrice mobile.

Avec les techniques 2, la totalité du sol agricole est exploitée grâce à des moyens mécanisés pour la production alimentaire; le passage aux techniques 3 n'ajoute alors aucune possibilité supplémentaire; la population qu'il autorise n'est donc pas supérieure; le facteur limitant est ici constitué par la ressource en sol agricole.

f) Système productif : autonomie poussée. On rappelle que, dans cette autonomie, n'est possible que l'importation des biens qui ne peuvent pas être produits à l'intérieur du système ⁽⁶⁾.

Dans tous les cas où le sol est utilisé en totalité, c'est lui qui au travers de la concurrence entre les productions intérieures et les productions destinées à équilibrer les échanges, constitue le facteur limitant.

L'augmentation de population est ici le résultat d'une libération importante de sol agricole ou forestier par l'élévation des rendements de conversion des activités de production d'énergie, ces sols pouvant être utilisés à des fins alimentaires ou d'échanges.

Le tableau 8 indique la consommation de sol, en pourcentage du sol total, par les activités fortes consommatrices dont le pourcentage est supérieure à 2,5 % :

technique	1	2	3
céréales al. anim.	7,68	7,15	12,54
cultures trienn.			11,26
prairies natur.	39,55	21,88	38,36
prairies artif.	3,43		
cult. énerg. natur.	14,85	36,89	5,23
plantat. énerget.	26,51	19,43	
exploit. forest.	3,5	7,40	24,2
entretien bâtiments			3,43
divers	4,48	7,24	4,98

TABEAU 8 (%)

On observe : pour les techniques 1 et 2, l'importance des cultures de biomasse à des fins énergétiques et, particulièrement pour les techniques 1, l'importance de la production d'aliments pour les animaux de trait et l'élevage; le passage à la traction mécanique qui entraîne une diminution de ces activités avec les techniques 2, lesquelles réaugmentent en fonction des besoins de la population avec les techniques 3. Dans ce dernier cas, la surface de culture et de plantations énergétiques diminue fortement grâce à la possibilité d'utiliser des capteurs physiques non photosynthétiques.

On note aussi l'importance relative, pour les trois techniques, des prairies naturelles et des cultures énergétiques naturelles ce qui souligne le manque de fertilisant.

Le tableau 9 donne, en pourcentage de l'offre totale de travail, la consommation de travail des activités fortes consommatrices, les travaux de valeur inférieure à 2,5 % étant regroupés sous la mention "divers" :

technique	1	2	3
élevages diversif.	12,0	9,7	9,7
traction animale	35,2		
traction mécanique		3,1	3,3
prep.alim. végétar.			
prep.alim. mixtes	6,8	6,8	6,8
menuiserie générale		2,6	6,1
confection text. cuir	4,0	3,2	3,2
entretien bâtiments	4,1	3,3	3,2
transm. des connais.	3,7	3,4	3,4
entret. de la santé	10,0	8,8	8,8
gestion	4,0	3,3	3,9
divers	14,8	9,5	5,6
disp.non util.	5,1	46,2	45,9
tot./tête.jour (H)	7,59	4,30	4,32

TABLEAU 9 (%)

Ce tableau montre la part de travail importante requise, dans le cas des techniques 1, par la production de force motrice mobile à l'aide d'attelage d'animaux de trait. Il est à noter également que le travail de service requiert environ 16 % du travail disponible.

§ 2.2. ÉTUDE N°2 : VARIATION DES RESSOURCES D'ESPACE

a) Objectif. Il s'agit d'étudier l'influence de la répartition des types de sols sur l'organisation du système productif, cela dans une situation d'autonomie poussée et avec les techniques 3. Dans ce but, on fait varier les surfaces respectives de sol agricole et de sol forestier disponibles, en gardant constante la surface totale.

b) Données. La série comporte 9 jeux de données qui ne diffèrent que par les ressources en sol avec les dotations fournies par le tableau 1 :

régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
sol agricole	18000	16000	14000	12000	10000	8000	6000	4000	2000
sol forestier	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000

TABLEAU 1 (Unité : Hectare)

Les techniques disponibles correspondent au bloc des techniques 3 et les échanges extérieurs au bloc de l'autonomie poussée, sans exportation de travail; les données modulaires (y compris les prix extérieurs) sont celles de la matrice de base ⁽¹⁾.

On note l'absence des jeux de données extrêmes correspondant à l'absence d'un type de sol : vu les caractéristiques de l'autonomie poussée, il n'y a pas de régime compatible avec de tels jeux. On utilise le seul critère "population maximum" ⁽²⁾.

Les 9 déterminations correspondant à ces données portent les numéros 21 à 29 ⁽³⁾.

⁽¹⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.b., points (3) et (5) de l'alinéa 1.2.b.

⁽²⁾ alinéa 1.2.c.

⁽³⁾ la détermination n°23 correspondant au jeu n°3 fait déjà partie de l'étude n°1 avec le n°19.

c) Résultats généraux

(1) Variation de la population maximum. Elle est fournie par le tableau 2 :

régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
population maximum	19372	20638	20553	20042	19241	17942	14526	9684	4842

TABLEAU 2

On note que la population maximum ne varie pas proportionnellement à la surface de sol agricole disponible et que les variations restent faibles sauf dans les régimes 7-9.

Les possibilités de substitution d'activités agricoles plus intensives quant à l'usage du sol permettent de maintenir une densité voisine de 1 habitant par hectare pour une variation d'un facteur 2 de la surface agricole utile. En fait, seuls les régimes 8 et 9 font apparaître une nette diminution de la population mais aussi une sous utilisation des ressources en sol, les densités à l'hectare de sol total utilisé diminuant cependant beaucoup moins vite que la population (la population est divisée par 4, la densité à l'hectare par 1,7). Ces résultats montrent que la densité de population à l'hectare dépend beaucoup plus des technologies disponibles que de la répartition des ressources en sol.

(2) Temps de travail journalier. Le temps de travail journalier des actifs reste pratiquement constant sauf dans les deux derniers régimes (8 et 9) où apparaît une baisse sensible liée à une exploitation à caractère plus extensif de l'écosystème (exportation de bois scié au lieu de fabricats en bois) et à l'existence d'une surface importante de sol inutilisé. Le tableau 3 donne, en pourcentage de l'offre totale de travail, la répartition du travail effectué entre les diverses activités, les travaux de valeur inférieure à 2,5 % étant regroupés sous la mention "divers" :

régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
élevages diversif.	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
traction	3,7	3,4	3,3	3,1	3,0	2,9	3,1	3,1	3,1
prep.alim.végéтар.	6,8								
prep.alim.mixtes		6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,2
menuiserie générale		4,6	6,1	6,1	6,1	6,1	6,5		
confection text.	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
entretien bâtiments	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1	3,0	3,0
trans.des connais.	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3
entret.de la santé	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
gestion	3,4	3,7	3,9	3,8	3,9	3,9	3,9	3,2	3,2
divers	8,8	6,7	5,6	5,9	6,1	6,6	6,4	6,7	7,3
disp. non util.	48,9	46,5	45,9	46,0	45,7	45,4	45,1	52,2	52,2
tot./tête.jour (H)	4,08	4,28	4,32	4,32	4,34	4,37	4,39	3,82	3,82

TABLEAU 3 (%)

Ce tableau appelle les remarques suivantes :

- le pourcentage stable correspondant aux élevages diversifiés et à la confection textile et cuir marque une rigidité du système qui lie de façon complètement définie le niveau de ces activités au niveau de la population à travers la production de fibres animales et la consommation de produits textiles ⁽⁴⁾;
- le temps de "services", c'est à dire le temps de travail lié à l'entretien de la santé (tel qu'il est défini), à la reproduction du savoir et à l'organisation des activités productrices représente près de 16 % du travail disponible, soit, en moyenne le tiers du temps de travail effectif;
- les "temps de travaux" agricoles (en dehors de l'élevage) n'apparaissent pas dans ce tableau car ils représentent une fraction très faible de l'occupation réelle des actifs. On peut donc vraisemblablement penser que le fait, dans cette maquette, d'avoir négligé le caractère saisonnier de ces travaux, ne conduit pas à une "perte de représentativité" et que les

(4) voir aussi le point (1) de l'ainéa 3.1.c. à ce sujet.

éventuelles pointes de demande de travail agricole ne sont pas supérieures aux capacités de production de travail instantané de la population active.

d) Système productif

(1) Système agroalimentaire. De façon générale, l'alimentation de la population est "mixte", sauf dans le cas particulier du régime 1 qui est "végétarien" quoique très riche en sol agricole. Cette apparente anomalie s'expliquera plus loin ⁽⁵⁾ par la nécessité de couverture des échanges (pauvreté en sol forestier, donc en possibilité d'exporter des fabricats en bois), le niveau de l'élevage étant rigidement lié à la population ⁽⁶⁾.

La variation des diverses activités agricoles montre des phénomènes de substitution correspondant à un accroissement de la productivité à l'unité de surface de sol agricole, substitution destinée à compenser la diminution de la surface disponible de ce dernier. Ces variations sont résumées dans le tableau 4 :

régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
population	19372	20638	20553	20042	19241	17942	14526	9684	4842
cultures trienn.	290,32	225,86	224,93	118,23					
céréales al. hum.				37,91	78,96	73,63	59,61	39,74	19,87
prairies natur.	722,58	768,97	765,79	746,75	513,77	147,43			
prairies artif.					121,89	312,65	324,74	216,49	108,25
potagers pl. champs	13,47	8,98							
potagers ss serres			11,62	11,34	10,88	10,15	8,22	5,48	2,74

TABLEAU 4 (Niveaux d'activités)

Ce tableau fait apparaître les particularités suivantes :

- pour le système céréalier, remplacement ⁽⁷⁾ des cultures triennales par des cultures spécifiques de céréales pour alimentation humaine à partir du régime 4;

⁽⁵⁾ Voir l'alinéa 2.2.e.

⁽⁶⁾ Point (2) de l'alinéa 2.2.c. ⁽⁷⁾ voir le point (3) de l'alinéa 1.2.d.

- pour le système fourrager, remplacement des prairies naturelles par les prairies artificielles à partir du régime 5;
- pour le système maraîcher, remplacement des potagers plein champ par les potagers sous serre à partir du régime 3.

(2) Système agroénergétique et sylvicole. Le tableau 5 ci-après fait apparaître le remplacement ⁽⁷⁾ des cultures énergétiques naturelles (utilisant du sol agricole) par les plantations énergétiques (utilisant du sol forestier) à partir du régime 3 :

régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
population	19372	20638	20553	20042	19241	17942	14526	9684	4842
exploit. forest.	4,00	7,68	9,61	9,31	8,95	8,38	7,11	13,47	6,85
plantat. énerget.			1,77	23,60	45,81	69,28	96,69	44,54	21,91
cult. énerg. natur.	348,65	203,31	104,55						

TABLEAU 5 (Niveaux d'activités)

L'activité forestière suit, grosso modo, l'évolution ⁽⁷⁾ de la population sauf dans les régimes 8 et 9 correspondant à une utilisation extensive du bois scié pour la couverture des échanges obligatoires ⁽⁸⁾.

On remarquera que ces substitutions s'effectuent à des stades différents de la répartition des ressources d'espace et qu'elles correspondent aux variations des productions et consommations des activités les unes par rapport aux autres, et pas seulement à des variations de productivités spécifiques des diverses activités.

(3) Système énergétique. En fonction de la contrainte d'autonomie, ce système est entièrement d'origine solaire et caractérisé par le fait que les besoins de chaleur ne sont en aucun cas fournis par le brûlage de combustibles mais proviennent de façon directe de la captation de l'énergie solaire, ce qui correspond à la productivité maximale d'énergie par unité de surface du sol.

⁽⁸⁾ Voir l'alinéa 2.2.e.

En ce qui concerne la production de chaleur et d'électricité, les résultats sont représentés sur le tableau 6 :

régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
population	19372	20638	20553	20042	19241	17942	14526	9684	4842
c.solaires therm.BT			279,13	274,38	270,87	258,87	280,31	188,86	94,50
pompes à chaleur	242,61	259,45							
éoliennes							9,14	5,72	2,87
centrales thermiques	10,54	11,36	5,22	4,90	4,46	4,05			
c.solaires therm.MT	312,14	336,32	167,35	158,09	144,99	132,22	16,85	11,23	5,62

TABLEAU 6 (Niveaux d'activité)

La diminution du sol agricole se traduit par une tendance vers la simplification du système énergétique, chaque bien devenant produit par une activité spécifique. La chaleur MT restant toujours produite par les capteurs MT, on voit se succéder les enchaînement suivants :

- pour les régimes 1 et 2, la chaîne productrice, capteur MT (MT) - centrales thermiques (électricité + BT) - pompes à chaleur (BT), est complètement "intégrée";
- pour les régimes 3-6, deux chaînes fonctionnent en parallèle, d'une part, capteurs MT (MT) - centrales thermiques (électricité + BT), d'autre part capteurs BT (BT);
- pour les régimes 7-9, trois chaînes spécifiques sont en usage, les éoliennes (électricité), les capteurs MT (MT) et les capteurs BT (BT).

Enfin la production de force motrice mobile est caractérisée (tableau 7) par de fortes variations dans la répartition de l'alimentation en combustible du système de traction. Ces variations sont bien sûr en interdépendance avec les variations du système sylvicole fournisseur de la matière première de base ⁽⁹⁾. On remarquera que, comme dans le cas précédent, le système est de moins en moins diversifié et n'emploie plus que des tracteurs à combustibles solides dans les régimes 8 et 9.

⁽⁹⁾ Point (2) ci-dessus.

régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
population	19372	20638	20553	20042	19241	17942	14526	9684	4842
traction comb.liqu	45,43	50,07	50,28	39,49	15,59		17,58		
traction comb. gaz	25,00	16,68	13,66	21,84	44,61	56,05	1,76		
traction comb.sol	6,53	7,20	7,28	5,67	2,10		28,32	32,14	16,07

TABLEAU 7 (Niveaux d'activité)

e) Echanges extérieurs. L'essentiel des importations (qui suivent le niveau de la population; tableau 8) est couvert par l'exportation des produits de la forêt, surtout les fabricats en bois, complétés par la viande et le lait excédentaires (liaison rigide élevage-population ⁽¹⁰⁾), cela avec les exceptions suivantes :

- dans le régime 1, la pauvreté en sol forestier contraint à exporter des fruits et de la viande en quantité suffisamment importante pour imposer une alimentation végétarienne;
- dans les régimes 8 et 9, la très faible quantité de sol agricole disponible conduit à une diminution importante de la population donc des échanges obligatoires; la valorisation du bois scié sous forme de fabricats en bois devient donc inutile et c'est le bois scié qui est directement exporté; il faut noter que cet équilibre ne correspond pas à une absence de travail disponible (ces deux régimes sont ceux qui présentent le plus faible temps de travail journalier) mais à la meilleure organisation possible, compte tenu des caractéristiques techniques des menuiseries en consommation de pièces détachées importées.

régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
population	19372	20638	20553	20042	19241	17942	14526	9684	4842
fruits (KF)	13216								
viandes (KF)	59690	30983	30855	30087	28885	26935	21807	14538	7269
laits (KF)	4906	4228	4211	4106	3942	3676			
fabr.bois(KF)	29788	83235	112286	108794	104614	98111	84504		
bois scié(KF)								53511	27271
total/tête(KF)	5,55	5,74	7,17	7,13	7,13	7,17	7,32	7,03	7,13

TABLEAU 8

(¹⁰) point (2) de l'alinéa 2.2.c.

§ 2.3. ÉTUDE N°3 : RENTABILITÉ MAXIMUM DANS LA SITUATION DE LIBRE ÉCHANGE

a) Objectif. Dans la situation de libre échange total et avec les techniques 3, on s'intéresse aux régimes maximisant la marge d'échanges extérieurs dans une large gamme d'effectifs de la population. Ces régimes sont examinés en particulier au moyen des indicateurs de "rentabilité" que sont la marge (d'échanges extérieurs) rapportée à la population ou au volume total d'équipements.

b) Données. La série comporte 15 jeux de données [dont 10 listes seulement figurent dans le fascicule (III)] pour lesquels les techniques disponibles correspondent au bloc des techniques 3 et les échanges extérieurs à l'absence de contraintes, les dotations étant standard (14 000 hectares de sol agricole et 6 000 hectares de sol forestier) et les données modulaires (y compris les prix extérieurs) étant celles de la matrice de base ⁽¹⁾. Cela étant, pour deux des déterminations (n^{OS} 30 et 39) la population est laissée libre et on utilise les critères "marge d'échanges extérieurs maximum" et "population maximum" respectivement ⁽²⁾; par contre pour les huit autres déterminations (n^{OS} 31 à 38), la population est fixée à divers niveaux (entre 1 000 et 600 000; voir le tableau 1 ci-après), le critère utilisé étant toujours "marge d'échanges extérieurs maximum" ⁽³⁾.

⁽¹⁾ alinéas 1.1.b. et 1.2.b

⁽²⁾ alinéa 1.2.c.

⁽³⁾ Plutôt que de considérer cette étude comme une étude de variabilité en fonction de la population, on pourrait la considérer comme une étude d'extension (voir l'alinéa 1.1.a. et le chapitre 3) du jeu des données correspondant à la situation du libre échange (avec population libre) sous jacente, la démarche consistant alors à stratifier l'ensemble des régimes compatibles avec ce jeu par le paramètre population et via le critère "marge d'échanges extérieurs maximum". Une telle étude d'extension conjugue ainsi l'analyse multicritère et la stratification.

c) Résultats généraux. Dans l'ordre croissant des populations, on obtient d'abord des régimes agricoles extensifs (potagers et forêts) devenant plus intensifs (vergers) lorsque l'augmentation de travail disponible le permet. Puis, la croissance de la population limitant les disponibilités en sol, les activités à caractère industriel prennent la place des activités agricoles, d'abord avec la production de combustibles liquides puis avec les menuiseries (plus rentables à l'hectare de sol mobilisé mais consommant beaucoup de travail). Enfin, la pression sur le sol devenant très forte, apparaît l'exportation de travail qui finit par assurer, seule, la totalité de la couverture des échanges extérieurs.

Tout au long de cette évolution ⁽⁴⁾, le système énergétique reste remarquablement identique à lui-même. Il est basé sur la production combinée de chaleur BT et d'électricité par les moteurs à gaz pauvre, la chaleur MT nécessaire à la cuisson des aliments étant assurée par brûlage de combustible.

d) Echanges extérieurs; rentabilité. Le tableau 1 présente les valeurs de divers indicateurs ⁽⁵⁾ concernant les 10 déterminations en cause ainsi que celles relatives à des déterminations intermédiaires (à population fixée) qui ne figurent pas dans le fascicule (III).

Ce tableau appelle les remarques suivantes :

- le temps de travail effectif est toujours égal à l'offre de travail sauf dans le cas de la population maximale qui fera l'objet d'une étude particulière ⁽⁶⁾;
- la marge d'échange extérieur totale croît avec l'effectif de la population mais elle passe par un maximum correspondant au niveau maximal des menuiseries, activité qui est la plus "rentable" du système (détermination n°30). Elle décroît ensuite très rapidement lorsque l'on s'approche de la population maximale où elle n'inclut plus que le prélèvement imposé ⁽⁷⁾;

⁽⁴⁾ Voir le point (3) de l'alinéa 1.2.d.

⁽⁵⁾ A propos du réalisme de ces indicateurs, voir le point (2) de l'alinéa 1.2.d.

⁽⁶⁾ Voir l'étude n° 11 (§ 4.5).

⁽⁷⁾ Point (1) de l'alinéa 1.2.b.

n° det.	Population fixée	Trav./tête.jour (H)	Marge ech. ext.tot (MF)	Marge éch. ext/tête (KF)	Marge échange ext/équipts (%)	Equipts/tête(KF)	Importations/tête (KF)	Principales exportations (en % du total exporté)							
								Bois scié	Légumes	Fruits	Combustibles	Fabr.bois	Travail		
31	1 000	8	115	115	83	138	11	40	56						
	2 000	8	196	98	81	121	11	23	75						
	3 000	8	277	92	80	116	11	16	83						
	4 000	8	358	89	79	113	11	12	87						
32	5 000	8	439	88	79	111	11	10	89						
33	10 000	8	783	78	34	231	11			93					
	20 000	8	1204	60	10	580	45			39	60				
	30 000	8	1623	54	8	695	56			25	75				
	40 000	8	2042	51	7	753	62			18	82				
34	50 000	8	2061	49	6	798	66			14	86				
35	100 000	8	4463	45	5	883	76				96				
	200 000	8	7850	39	6	680	63				84	16			
36	300 000	8	10037	33	12	280	37				39	61			
37	400 000	8	11700	29	33	89	25							97	
	500 000	8	9247	18	25	73	15							70	27
38	600 000	8	6791	11	18	62	9							22	74
39	POP. MAX. 645 177	4,57	1	0	0	56	7								100
30	POP. OPT.	8,00	11927	31	34	91	26							98	

TABLEAU 1

- la marge d'échange extérieur par tête décroît régulièrement avec l'augmentation de l'effectif de la population;
- le volume d'équipement par tête et les importations par tête passent par un maximum ⁽⁸⁾ correspondant à la situation où l'essentiel des exportations est constitué par les combustibles, l'activité de production de ces combustibles étant l'activité la plus complexe du système. Les valeurs basses d'importation par tête correspondent sensiblement à l'entretien de la population;
- le rapport marge d'échanges extérieurs / équipements, caractérisant la rentabilité des installations, est extrêmement variable (de 0 à 83 %); il est minimum lorsque l'activité principale est la production de combustibles et atteint des valeurs élevées dans des situations de production agricole extensive (forêts et potagers) ou dans la situation correspondant à un système spécialisé dans la menuiserie.

Les disparités de variations de la marge par tête et de la marge totale peuvent être interprétées en termes de conflit entre l'intérêt particulier (marge par tête) qui conduit à une exploitation agricole extensive et l'intérêt général (marge totale) qui est en faveur d'une population de menuisiers.

e) Examen des valeurs duales. L'examen des valeurs duales montre peu de variations très significatives sauf dans le cas des sols et du travail pour lesquels on trouvera les valeurs dans le tableau 2. Ces résultats conduisent à subdiviser la série de régimes en quatre tranches, correspondant aux valeurs duales du sol et du travail :

- dans la tranche 1 (de 1 000 à 10 000 personnes), la faible valeur du sol (seul le sol forestier a une valeur) et la forte valeur du travail caractérisent un système agricole extensif où seul le travail est un facteur limitant;

⁽⁸⁾ La détermination des régimes optimum correspondants relève de la résolution du problème d'optimisation standard (7) pour les critères non linéaires de la forme (11) [alinéa 1.1.e. de (I)] correspondant à la minimisation de ces indicateurs.

n° det.	Population fixée	valeurs duales (KF)			
		Travail	Soi inculte	Soi agricole	Soi forestier
31	1 000	7,4	0	0	5,6
	2 000	7,4	0	0	5,6
	3 000	7,4	0	0	5,6
	4 000	7,4	0	0	5,6
32	5 000	7,4	0	0	5,6
33	10 000	4,2	7	21	7
	20 000	4,1	7,1	23	7
	30 000	4,1	7,4	23	7,4
	40 000	4,1	7,4	23	7,4
34	50 000	4,1	7,4	23	7,4
35	100 000	4	23	23	23
	200 000	2,8	174	174	174
36	300 000	2,8	174	174	174
37	400 000	1,2	1074	1074	1074
	500 000	1,2	1076	1076	1076
38	600 000	1,2	1076	1076	1076

TABLEAU 2

- dans la tranche 2 (de 10 000 à 100 000 personnes), l'augmentation de la valeur du sol et la baisse de celle du travail montrent le passage à une organisation combinant une agriculture intensive (vergers) et une production industrielle (combustibles liquides);
- dans la tranche 3 (de 100 000 à 300 000 personnes), une nouvelle baisse de la valeur du travail et une forte augmentation de celle des sols (qui sont désormais tous à la même valeur) indiquent une forte pression sur l'usage des sols qui sont occupés par des installations à caractère uniquement industriel, plus rentables à l'hectare occupé que l'agriculture;
- dans la tranche 4 (au-dessus de 300 000 personnes), la valeur du travail est la valeur plancher (correspondant au prix extérieur). Le sol devient le seul facteur réellement limitant et sa valeur augmente considérablement; le sol disponible n'est plus suffisant pour accueillir la population et les activités productrices; ces dernières disparaissent progressivement et font place à l'exportation du travail.

CHAPITRE 3 - ETUDES D'EXTENSION

Ce chapitre contient la présentation des études n^{OS} 4, 5 et 6, lesquelles correspondent respectivement aux déterminations n^{OS} 41 à 46, n^{OS} 51 à 56, et n^{OS} 60 à 69 figurant dans le fascicule (III).

Les études n^{OS} 4 et 5 concernent les multiplicités ⁽¹⁾ de régimes compatibles avec des situations d'échanges extérieurs données (autonomie poussée dans l'étude n^O 4 et libre échange dans l'étude n^O 5), cela avec une même orientation générale vers l'économie des facteurs primaires. L'étude n^O 6 concerne, dans une visée planificatrice, une multiplicité de régimes qui correspondent à l'exploitation maximum des ressources énergétiques locales en vue de l'exportation d'électricité.

⁽¹⁾ voir ce qui concerne les études d'extension à l'alinéa 1.1.a.

§ 3.1. ÉTUDE N°4 : DIVERSITÉ DANS LA SITUATION D'AUTONOMIE POUSSÉE

a) Objectif. Dans le cadre de l'autonomie poussée et des techniques 3, on examine, pour une population légèrement inférieure à la population maximum compatible avec ce cadre, les structures productives des régimes optimaux correspondant à des critères variés. Dans le système productif, les possibilités de variation portent essentiellement sur le système énergétique que l'on se propose d'analyser en détail.

b) Données. La série comporte six déterminations correspondant à un même jeu de données et à six critères ⁽¹⁾. Les techniques disponibles correspondent au bloc des techniques 3; les échanges extérieurs correspondent au bloc de l'autonomie poussée (sans exportation de travail); les données modulaires (y compris les prix extérieurs) sont celles de la matrice de base ⁽²⁾.

La population est supposée avoir un effectif minimum de 18 000 têtes, soit un peu moins de 90 % de l'effectif maximum (20 553) correspondant au même jeu de données ⁽³⁾.

Les six critères utilisés sont les suivants ⁽⁴⁾ :

- (1) "travail minimum" ;
- (2) "équipements minimum" ;
- (3) "marge d'échanges extérieurs maximum" ;
- (4) "énergie consommée minimum" ;
- (5) "eau consommée minimum" ;
- (6) "sol utilisé minimum" .

Les déterminations correspondantes portent les numéros 41 à 46.

⁽¹⁾ démarche d'une étude d'extension basée sur l'analyse multicritère; voir l'alinéa 1.1.a.

⁽²⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.b., points ⁽³⁾ et ⁽⁵⁾ de l'alinéa 1.2.b.

⁽³⁾ voir la détermination n°19 (étude n° 1, § 2 1.).

(4) alinéa 1.2.c.

c) Résultats généraux

(1) Invariants. On observe d'abord les rigidités du système productif mises en évidence par la série. Les six régimes ont des niveaux identiques pour les deux activités suivantes : "élevage diversifié" (n°1) et "confection : textiles et cuirs" (n°44). Cette invariance peut être interprétée comme suit : le niveau de population détermine de façon univoque le niveau de l'activité de "confection : textiles et cuirs" et celle-ci par sa consommation du bien fibre animale qui ne peut être importé dimensionne l'élevage. Cette rigidité a comme on le montrera des conséquences importantes pour l'usage du sol ⁽⁵⁾.

(2) Travail, investissement, échanges. Le tableau 1 donne les valeurs des indicateurs standard :

indicateur critère	trav. (H)	équipts (KF)	import (KF)	marge éch.ext. (KF)
trav.min.	3,68	109,18	5,62	0,06
éqip.min	3,94	101,15	5,43	0,06
mge ech.ext.max.	4,79	117,41	5,97	6,15
énergie min.	3,83	161,29	5,18	0,06
eau min	4,22	176,15	6,63	0,06
sol min	4,28	141,20	5,69	0,06

TABLEAU 1 (indicateurs par tête)

On observe que l'on s'écarte assez peu du régime correspondant au critère "travail minimum", à l'exception du régime correspondant au critère "Marge d'échanges extérieurs maximum" et en ce qui concerne l'indicateur relatif aux équipements. Dans le cas du critère "Marge d'échanges extérieurs maximum", cette marge est égale au vingtième du volume d'équipements.

⁽⁵⁾ Voir le point (3) ci-après.

(3) Usage du sol. Le tableau 2 donne, en pourcentage, le sol occupé par les différentes activités :

critère	trav. min.	équipts min.	mge ech. ext.max.	energ. min.	eau min.	sol min.
céréales al. anim.	11,03	11,03	11,03	11,03	10,98	10,98
cultures trienn.	13,51	13,51	13,51	13,51	16,02	9,86
prairies natur.	33,63	33,63	33,63	33,63	33,60	33,60
cult.énerg.natur.	5,78	3,97	2,68			8,87
plantat.énerget.		19,02		22,16	10,05	
exploit.forest.	27,8	10,97	30	7,82	19,95	16,78
éoliennes				2,66	3,07	
entretien bâtiments	2,89	2,93	3,11	2,94	3,00	2,99
divers	5,28	4,87	5,77	5,81	3,24	3,98
disponible				0,34		12,77

TABLEAU 2 (% sols)

On retrouve dans ce tableau la rigidité mentionnée au point (1). On peut remarquer que près de 40 % du territoire sont nécessaires à la production d'aliments pour les animaux d'élevage.

La variabilité de l'utilisation du sol par les activités à caractère énergétique (cultures énergétiques, plantations énergétiques, exploitation forestière, éolienne) est par ailleurs à souligner.

d) Système énergétique. Le système de production d'énergie à poste fixe qui délivre de la chaleur BT, de la chaleur MT et de l'électricité peut faire l'objet d'une représentation de type "diagramme de cheminement". Celle-ci a été utilisée pour visualiser les systèmes énergétiques propres aux différents régimes.

Sur tous les régimes, on peut observer l'absence de brûlage comme moyen de produire de la chaleur. Cela résulte de la nécessité au niveau de la population considérée, de disposer d'activités de collecte d'énergie solaire à haut rendement. La biomasse est réservée aux usages de traction pour

lesquels, dans le cadre de l'autonomie poussée, elle ne peut être substituée. L'unique exception à cette règle est constituée par l'usage, dans le cadre du critère "équipements minimum", d'une quantité marginale de combustibles solides et liquides pour produire de l'électricité, ce qui répond au besoin de limiter le parc de capteurs coûteux en équipements.

La figure 1 représente le système énergétique correspondant au critère "travail minimum" :

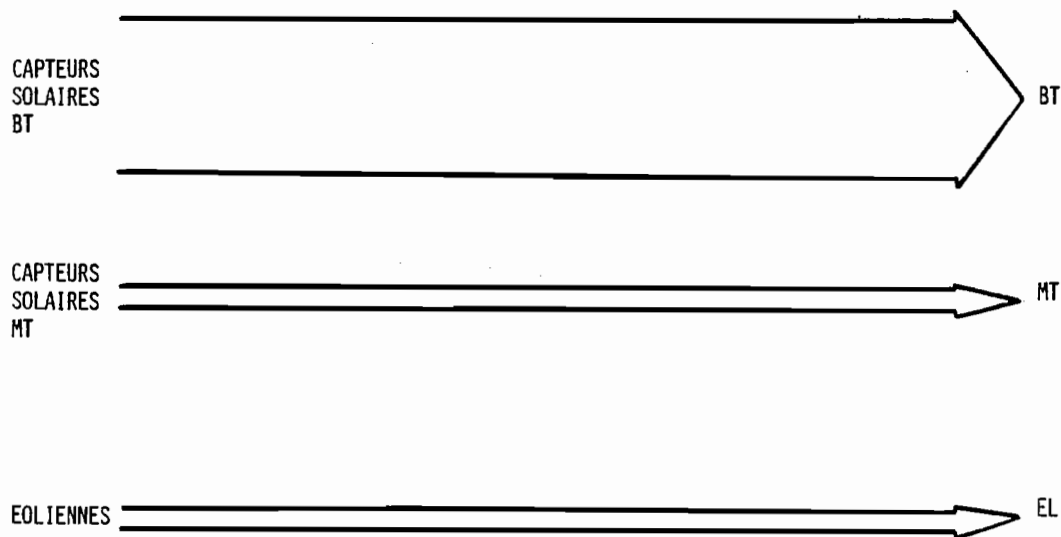


FIGURE 1

On note que chaque bien énergétique est produit directement par un capteur qui lui est spécifiquement adapté.

La figure 2 représente le système énergétique correspondant au volume d'équipements minimum :

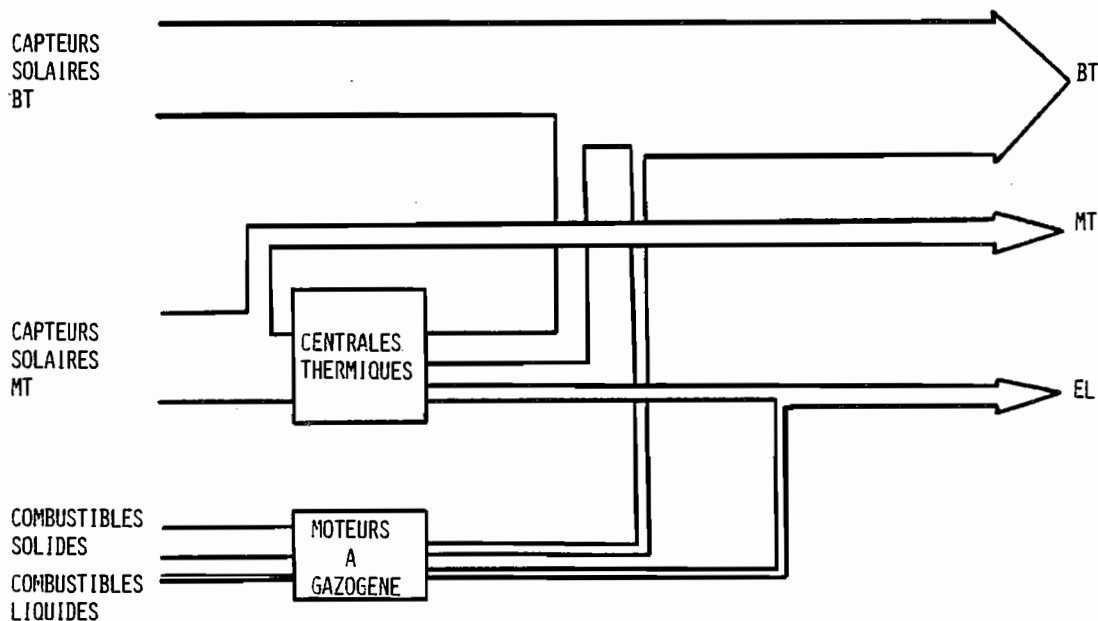


FIGURE 2

On observe, à la différence de la figure 1, l'utilisation de combustible pour la génération d'énergie à poste fixe, c'est-à-dire une certaine limitation du parc de capteurs.

La figure 3 représente les systèmes énergétiques des régimes correspondant aux critères "Marge d'échanges extérieurs maximum" et "Sol utilisé minimum" qui sont très voisins.

Ces critères conduisent à des systèmes constitués d'une centrale solaire basée sur l'emploi des capteurs à moyenne température. La similitude des deux situations s'explique par la nécessité de limiter au maximum la surface de sol occupée par le système énergétique. Cette limitation qui est évidente pour le critère "Sol utilisé minimum", permet dans le cas du critère "marge d'échanges extérieurs maximum" de conserver à des fins d'échange la plus grande surface de sol possible.

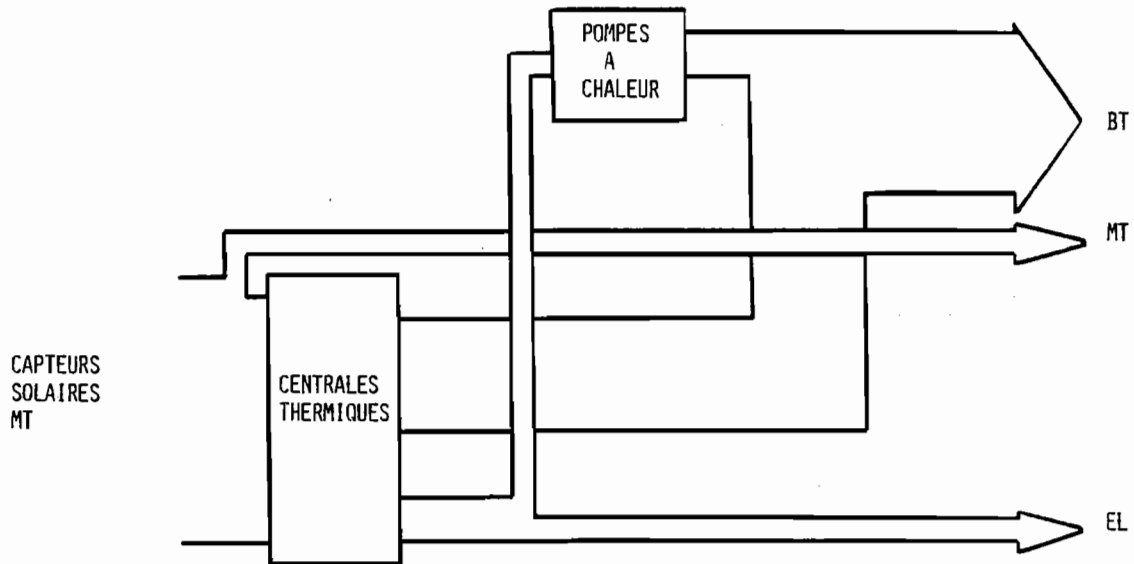


FIGURE 3

La figure 4 représente les systèmes énergétiques des régimes correspondant aux critères "eau minimum" et "énergie minimum" qui sont voisins.

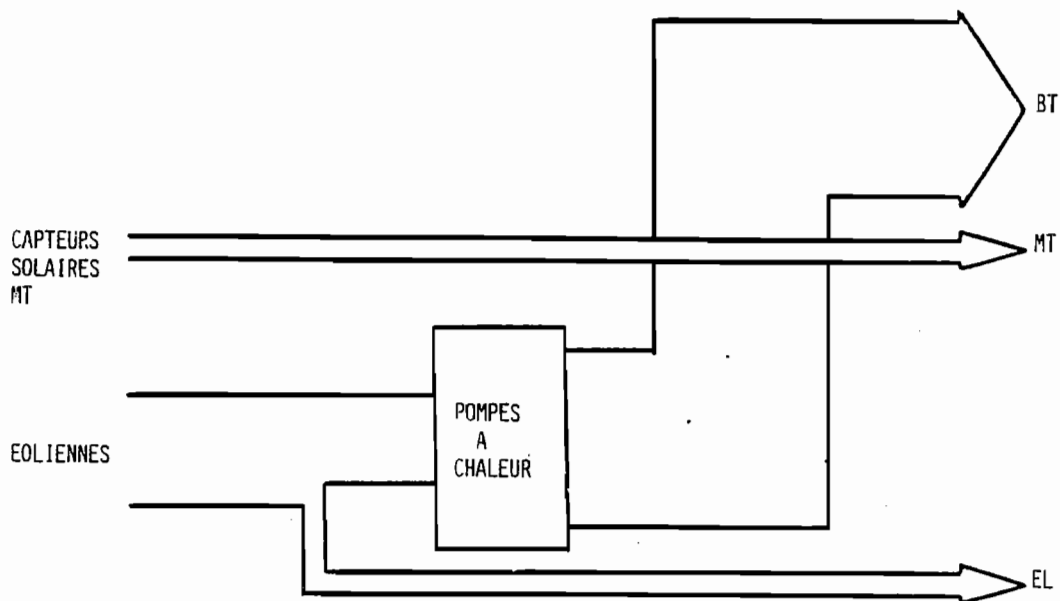


FIGURE 4

Ces systèmes sont basés sur un champ d'éoliennes produisant de l'électricité que l'on met à profit par des pompes à chaleur.

On souligne la multiplicité des systèmes énergétiques obtenus en fonction du critère employé.

§ 3.2. ÉTUDE N°5 : DIVERSITÉ DANS LA SITUATION DE LIBRE ÉCHANGE

a) Objectif. Dans le cadre du libre échange et des techniques 3, on examine, pour une population fixée, les tendances générales des régimes optimaux correspondant à des critères variés.

b) Données. La série comporte six déterminations correspondant à un même jeu de données et à six critères ⁽¹⁾. Les techniques disponibles correspondent au bloc des techniques 3; les échanges extérieurs sont entièrement libres; les données modulaires (y compris les prix extérieurs) sont celles de la matrice de base ⁽²⁾.

La population est fixée à 100 000 têtes.

Les six critères utilisés sont les suivants :

- (1) "travail minimum" ;
- (2) "équipements minimum" ;
- (3) "marge d'échanges extérieurs maximum" ;
- (4) "énergie consommée minimum" ;
- (5) "eau consommée minimum" ;
- (6) "sol utilisé minimum" .

Les déterminations correspondantes portent les numéros 51 à 56.

c) Résultats généraux. Le tableau 1 pour la répartition des sols, le tableau 2 pour celle du travail, le tableau 3 pour les indicateurs généraux donnent une vision des grandes lignes quantitatives de l'étude.

⁽¹⁾ démarche d'une étude d'extension basée sur l'analyse multicritère; voir l'alinéa 1.1.a.

⁽²⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.b, points (3) et (5) de l'alinéa 1.2.b.

critère	Trav. min.	Equip. min.	Mge Ech. ext.max.	Energie min.	Eau min.	sol min.
potagers pl. champ	53,1		3,2			
vergers			37,5			
exploit. forest.	28,6	16,4			16,3	
prod. comb. liquides			4,6			
entretien bâtiments	12,5	12,3	38,9	15,2	12,2	12,1
divers	5,8	3,4	15,8	5,3	3,4	3,4
disp. non util.	0	67,9	0	79,5	68,1	84,5

TABLEAU 1 - Répartition du sol (%).
Les postes inférieurs à 2,5 % sont regroupés dans la
ligne "divers".

critère	Trav. min.	Equip. min.	Mge Ech. ext.max.	Energie min.	Eau min.	sol min.
potager pl.champ	2,8					
prod.comb. liq.			24,2	3,0		
traction comb.solide			8,5			
prep. alim. vegetar.	6,8	6,8	6,8	6,8		6,8
prep. alim. mixte					6,8	
mécan. gen. transf.			7,0			
entretien bâtiments			7,5	2,9		
trans. des connais.	3,1	3,3	4,2	3,2	3,4	3,3
entret. de la santé	8,7	8,8	9,1	8,7	8,8	8,8
gestion			16,0	3,6		
export. travail		27,6			35,8	30,3
divers	7,5	8,5	16,7	4,9	8,5	8,0
disp. non util.	71,1	45,0		66,9	36,7	42,8

TABLEAU 2 - Répartition du travail (%).
Les postes inférieurs à 2,5 % sont regroupés
dans la ligne "divers".

Critère	trav. min.	Equip. min.	Mge Ech. Ext.max.	Energie min.	Eau min.	sol min.
travail.jour (H)	2,31	4,40	8,00	2,65	5,06	4,58
equipement (KF)	59,12	54,11	883,26	159,11	57,60	56,75
import. (KF)	6,21	6,36	75,53	13,57	8,24	6,99
mge Ech. ext. (KF)	0,01	0,01	44,63	0,01	0,01	0,01
sol (HA)	0,2	0,06	0,2	0,04	0,06	0,03

TABLEAU 3 - Indicateurs par tête.

d) Tendances générales des systèmes productifs et des exportations. Dans le cas où le niveau de contraintes est faible comme dans la situation présentée ici de libre échange, les critères entraînent une forte variabilité des échanges extérieurs et donc du système productif qui permet de les satisfaire. On donne, pour chaque critère, les grandes lignes des systèmes productifs et la ventilation des exportations en valeur selon les différents biens.

(1) "Travail minimum" (détermination n° 51). Potagers, vergers et forêts; production de combustibles liquides à partir de la biomasse locale (potagers et forêts); moteurs à gaz pauvre; autosuffisance totale en fruits, légumes, électricité et bois scié. Exportations : électricité, 13 %; légumes, 83 %; bois scié, 3,3 %.

(2) "Equipements minimum" (détermination n° 52). Forêts et zones d'habitation; autosuffisance en bois scié et fertilisants; excédents de biomasse. Exportations : travail, 100 %.

(3) "Marge d'échanges extérieurs maximum" (détermination n° 53). potagers et vergers; valorisation de la biomasse importée par production de combusti-

bles; autosuffisance en fruits, légumes, combustibles. Exportations : combustibles solides, 10 %; combustibles liquides, 77 %; combustibles gazeux, 9 %; fruits, 3 %.

(4) "Energie consommée minimum" (détermination n° 54). Production de combustibles liquides par valorisation de biomasse importée; autosuffisance en combustibles. Exportations : combustibles solides, 3 %; combustibles liquides, 86 %; combustibles gazeux, 10,4 %.

(5) "Eau consommée minimum" (détermination n° 55). Faible différence avec la détermination n° 52. Forêts et zones d'habitations. Exportations : travail, 100 %.

(6) "Sol utilisé minimum" (détermination n° 56). Zones d'habitation; autonomie en électricité. Exportations : travail, 100 %.

Le tableau 4 donne la répartition des principales exportations et leurs valeurs totales :

Critère	Trav. min.	Equip. min.	Mge Ech. ext.max.	Energie min.	Eau min.	Sol min.
légumes (%)	83					
électricité (%)	13					
combustibles (%)			97	100		
travail (%)		100			100	100
valeurs totales (GF)	0,62	0,63	12	1,36	0,82	0,70

TABEAU 4

§ 3.3. ÉTUDE N°6 - EXPORTATION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET PRIX DE L'ÉNERGIE

a) Objectif. On s'intéresse ici au projet d'une collectivité locale organisée pour exporter de l'énergie utilisable (électricité ou combustibles) produite localement à partir de ressources renouvelables (énergie solaire ou éolienne, bio-conversion). La collectivité en question étant soumise à la contrainte d'équilibre des échanges extérieurs, la nature de ces échanges (autonomie ou non) et le prix de l'énergie exportée vont jouer un rôle important que l'on cherche à analyser au moyen de la maquette en cause. On envisage pour cela plus spécialement le cas de l'exportation d'électricité dans deux situations d'autonomie (autonomie énergétique et autonomie poussée) et sous diverses hypothèses relatives au prix de l'électricité. On évalue ainsi, pour chaque situation, le prix minimum au-dessous duquel la contrainte d'équilibre des échanges extérieurs grève le potentiel physique d'exportation ⁽¹⁾.

b) Données. L'étude comporte 10 déterminations pour lesquelles les techniques disponibles correspondent au bloc des techniques 3, les données modulaires (y compris les prix extérieurs sauf celui de l'électricité) sont celles de la matrice de base et les dotations sont standard (14 000 hectares de sol agricole et 6 000 hectares de sol forestier ⁽²⁾). Dans les déterminations n^{os} 60 à 66, les échanges extérieurs correspondent au bloc de l'autonomie énergétique ⁽³⁾, tandis que dans les déterminations n^o 67 à 69, ces échanges correspondent au bloc de l'autonomie poussée sans exportation de travail ⁽³⁾, l'enveloppe d'équipements étant illimitée ⁽⁴⁾ pour toutes

⁽¹⁾ une étude analogue pourrait être faite pour les exportations de combustibles.

⁽²⁾ point ⁽¹⁾ de l'alinéa 1.1.b, points (1) et (5) de l'alinéa 1.2.b

⁽³⁾ point (3) de l'alinéa 1.2.b.

⁽⁴⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.c.

les déterminations sauf pour la détermination n° 64 pour laquelle elle est fixée à 40 000 MF; dans cette détermination, les excédents de chaleur BT et de fertilisants (biens n°^{OS} 8 et 28) sont de plus limités (à 1 unité). A l'activité d'exportation d'électricité (n° 76) sont imposés, un niveau min de 4 TWH (i.e. 4×10^6 MWH) dans les déterminations n°^{OS} 65,66 et un niveau min de 2 TWH dans la détermination n° 69. Les prix extérieurs sont les prix de base, sauf en ce qui concerne le bien "électricité" (n° 5) pour lequel l'indice du prix extérieur prend, outre la valeur 1 (det. n°^{OS} 60,67), les valeurs 1,2 (det. n°^{OS} 61,68,69), 2 (det. n° 62) et 4 (det. n°^{OS} 63 à 66). On note que dans toutes ces déterminations, l'activité "population" (n° 96) est libre ⁽⁵⁾.

Trois critères sont utilisés ⁽⁶⁾ :

- "exportations d'électricité maximum" dans les déterminations n°^{OS} 60 à 64, 67 et 68;
- "équipements minimum" dans les déterminations n°^{OS} 65 et 69;
- "population minimum" dans la détermination n° 66.

Le tableau 1 résume ces données :

type ech.ext.	limitation	critère	prix ext. élect.			
			x1	x1.2	x2	x4
autonomie énergétique		exp.max.elect.	60	61	62	63
	envel.equip. +lim. excéd.	exp.max.elect.				64
	lim. inf. exp. elect.	equip. min.				65
		pop. min.				66
autonomie poussée		exp.max.elect.	67	68		
	lim. inf. exp.elect.	equip. min.		69		

TABLEAU 1 (déterminations)

⁽⁵⁾ ou donne lieu au niveau min. technique de 10 [point (4) de l'alinéa 1.2.b]

⁽⁶⁾ alinéa 1.2.c.

c) Résultats généraux. Le potentiel physique d'exportation d'électricité n'est atteint que lorsque le prix extérieur de l'électricité dépasse un seuil. Ce seuil correspond à un indice voisin de 4 ⁽⁷⁾ dans la situation d'autonomie énergétique et à un indice voisin de 1,2 ⁽⁷⁾ dans la situation d'autonomie poussée, ainsi que le montre le tableau 2 :

prix électr.		x 1	x 1,2	x 2	x 4
autonomie énergétique	exp.elect. (GWH)	3188	3800	3999	4523
	mge ech;ext. (MF)	1	1	1	254
autonomie poussée	exp.elect.(GWH)	2112	2561		
	mge ech.ext. (MF)	1	10		

TABLEAU 2

La marge d'échanges extérieurs reste égale au prélèvement imposé (1 MF) tant que ⁽⁸⁾ le prix de l'électricité est inférieur au seuil. Ce seuil est dépassé de peu dans les déterminations n^{os} 63 et 68 qui fournissent ainsi le potentiel physique d'exportations (relatif aux données, y compris les prix extérieurs autres que le prix de l'électricité).

On note que ce potentiel physique est certes grévé par l'impératif d'autonomie poussée, mais pas de façon drastique puisqu'il reste, dans cette situation (détermination n^o 68), égal à 57 % (2561 GWH) du potentiel maximum (4522 GWH) fourni par la détermination n^o 63 .

On note aussi la diversité des populations obtenues dans la situation d'autonomie énergétique. Le tableau 3 résume les résultats :

⁽⁷⁾ valeur par excès.

⁽⁸⁾ voir le point (3) de l'alinéa 1.2.d.

det. n°	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
type ech. ext.	autonomie énergétique							autonomie poussée		
popul. (milliers)	20,3	9,2	28,3	78,6	7,9	69,5	28,4	8,3	7,7	6,4

TABLEAU 3

Ces variations sont à rapprocher de celles du système de conversion de l'énergie ⁽⁹⁾.

d) Système de conversion de l'énergie. Deux types de centrales sont en cause :
 - des champs d'éoliennes (activité n° 29),
 - des centrales solaires à conversion thermodynamique (activités n°^{OS} 24 et 27) ⁽¹⁰⁾.

Dans la situation d'autonomie poussée, les champs d'éoliennes dominent largement. Par contre dans la situation, plus ouverte, d'autonomie énergétique, les deux types de centrales sont en compétition conformément au tableau 4 qui donne les productions respectives :

⁽⁹⁾ voir l'alinéa 3.3.d.

⁽¹⁰⁾ des moteurs à gaz pauvre (activité n° 28) interviennent aussi de façon marginale (det. n°^{OS} 64,65,69).

prix elect.	x 1	x 1,2	x 2	x 4			
det. n ^o	60	61	62	63	64	65	66
limitations					env.equip + lim exced.	lim.inf exp. elect.	lim. inf. exp. elect
critère	exp. max. elect.	exp. max. elect.	exp. max elect.	exp. max elect.	exp. max elect.	équip. min.	pop min.
population	20,3	9,2	28,3	78,6	7,9	69,5	28,4
eoliennes	3140	3734	2708	0	3474	0	2702
c.solaires	68	75	1337	4670	21	4115	1345

TABLEAU 4 (popul. en milliers et productions d'électricité en GWH)

Ce tableau montre le fait que l'effectif de la population est beaucoup plus important dans le cas des centrales solaires (det. n^{os} 63 et 65) que dans celui des champs d'éoliennes (det. n^{os} 61 et 64). Ce fait est à rapprocher de la situation en apparence paradoxale que l'on rencontre pour les deux types d'autonomies : dans les déterminations n^{os} 61, 64 et 67,68, 69, c'est la technique la moins productive d'électricité à l'hectare, les éoliennes, qui est utilisée de préférence à la technique la plus productive, les centrales solaires, alors que le critère stipule l'exportation maximum d'électricité.

Pour éclairer cette situation, on peut remarquer que les centrales solaires sont certes plus productives à l'hectare que les éoliennes, mais aussi plus consommatrices, à production égale, de travail et de pièces détachées pour l'entretien. Dans le cas de l'autonomie poussée, c'est la consommation de travail qui intervient : compte tenu du territoire mobilisé pour l'entretien de la population (donc pour fournir le travail), on produit alors globalement plus d'électricité avec des éoliennes qu'avec des centrales solaires. Dans le cas de la seule autonomie énergétique, c'est par

contre la consommation de pièces détachées qui intervient : cette consommation explique, d'une part que les centrales solaires sont désavantagées par les bas prix de l'électricité (la balance des échanges extérieurs étant alors juste équilibrée), d'autre part que le seuil du prix de l'électricité qui permet de dégager une marge d'échanges extérieurs se situe plus haut dans la mesure où le rapport produit exporté sur importations nécessaires se trouve être moins bon ⁽¹¹⁾. Ces considérations éclairent aussi l'interconversion entre les deux types de centrales correspondant au passage de la détermination n° 64 à la détermination n° 65.

(¹¹) Des études de sensibilité relatives aux coefficients techniques des activités en question (n° 24, 27, 29) devraient confirmer ces considérations heuristiques. Par ailleurs, ces coefficients techniques devraient être modifiés pour tenir compte des effets d'échelle intervenant pour les grosses unités considérées ici.

CHAPITRE 4 - ETUDES DE SENSIBILITE

Ce chapitre contient la présentation des études n^{OS} 7 à 11, lesquelles correspondent respectivement aux déterminations n^{OS} 71 à 74, n^{OS} 81 à 85, n^{OS} 91 à 94, n^{OS} 101 à 104 et n^{OS} 111 à 117.

Ces études de sensibilité ⁽¹⁾ concernent successivement la variation des rendements agricoles ou des prix extérieurs dans un cadre d'autonomie poussée (études n^{OS} 7 et 8), la variation de la demande extérieure dans un cadre d'exportations spécialisées (études n^{OS} 9 et 10), enfin la variation de la population au voisinage du régime de population maximum dans la situation de libre échange (étude n^{OS} 11).

⁽¹⁾ Voir ce qui concerne les études de sensibilité à l'alinéa 1.1.a.

§ 4.1. ÉTUDE N°7 : AUTONOMIE POUSSÉE : SENSIBILITÉ AUX RENDEMENTS AGRICOLES

a) Objectif. Dans le cadre de l'autonomie poussée et des techniques 3, on s'intéresse à l'influence de baisses des rendements agricoles sur le système productif du régime correspondant à la population maximum.

b) Données. La série comporte 4 jeux de données qui ne diffèrent que par les données modulaires : le jeu n° 1 correspond à la matrice de base ⁽¹⁾, tandis que les jeux n°2,3 et 4 correspondent à des baisses de rendements agricoles respectivement de 10 %, 20 % et 50 % ⁽²⁾. Les techniques disponibles correspondent au bloc des techniques 3 et les échanges extérieurs au bloc de l'autonomie poussée sans exportation de travail et avec les prix extérieurs de base ⁽³⁾. Les dotations sont standard (14 000 hectares de sol agricole et 6 000 hectares de sol forestier ⁽⁴⁾). On utilise le seul critère "population maximum" ⁽⁵⁾.

Les 4 déterminations correspondant à ces données portent les numéros 71 à 74 ⁽⁶⁾.

c) Résultats généraux. Le tableau 1 fournit les valeurs de quelques indicateurs :

⁽¹⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.b.

⁽²⁾ point (6) de l'alinéa 1.2.b.

⁽³⁾ points (3) et (5) de l'alinéa 1.2.b.

⁽⁴⁾ point (1) de l'alinéa 1.2.b.

⁽⁵⁾ alinéa 1.2.c.

⁽⁶⁾ la détermination n°71 correspondant au jeu n°1 fait déjà partie de l'étude n°1 avec le n°19.

rendement	100%	90%	80%	50%
population	20553	18289	16339	9722
fraction pop.jeu 1	100%	89%	79,4%	47,3%
sol utilisé (HA)	20000	20000	20000	20000
travail/tête.jour	4,32	4,40	4,49	5,06
équip/tête (KF)	109,81	111,7	113,7	126,82
import/tête (KF)	7,12	7,33	7,54	9,01

TABLEAU 1 (Indicateurs)

On peut y observer que le niveau de population suit approximativement le rendement agricole. On voit également que le travail, le volume des équipements, les importations par tête augmentent simultanément.

d) Système agro-alimentaire. Le tableau 2 indique les niveaux des activités agro-alimentaires :

rendement	100 %	90 %	80 %	50 %
potagers pl..champs.				
potagers ss serres	11.62	11.49	11.20	11.00
vergers	103.26	102.09	99.50	97.69
céréales al. hum.				
céréales al. anim.	250.33	247.51	243.69	236.83
cultures trienn.	224.93	222.39	214.58	212.80
cultures légumin.	7.23	7.15	7.01	6.84
cultures oléagin.	22.36	22.11	21.33	21.16
prairies natur.	765.79	757.16	761.00	724.49
prairies artif.				
cultures fibres	12.33	10.97	9.80	5.83

TABLEAU 2 (Niveaux d'activités)

Ce tableau montre que le niveau des activités agricoles de culture décroît très légèrement. La population diminuant au prorata de la baisse de la productivité agricole, il est naturel que la surface de sol occupé par les différentes cultures reste grossièrement constante (à 6 % près de diminution environ entre le premier et le dernier régime).

e) Système agro-énergétique et forestier. Le tableau 3 indique les niveaux des activités agro-énergétiques et sylvicoles :

rendement	100 %	90 %	80 %	50 %
cult.énerg.natur.	104.55	120.36	130.54	180.20
cult.énerg.artif.	0.00	0.00	0.00	0.00
plantat.énerget.	1.77	6.55	10.80	24.67
exploit.forest.	9.61	8.85	8.16	5.94

TABLEAU 3 (Niveaux d'activités)

Ce tableau indique une croissance marquée ⁽⁷⁾ des cultures énergétiques naturelles au détriment de l'ensemble des activités agro-alimentaires. De même, les plantations énergétiques augmentent de façon importante au détriment de l'exploitation forestière, mais également du sol banalisé occupé par les installations domestiques et industrielles. Ce fait suggère un phénomène important au niveau du système énergétique.

f) Système énergétique

(1) Production d'énergie à poste fixe. Le système de production d'énergie est structuré de façon identique pour les quatre régimes. Il repose sur des capteurs solaires à moyenne température associés à une centrale thermique pour la production d'électricité et sur des capteurs solaires à basse température. Les niveaux de ces différentes activités diminuent avec celui de la population.

(7) Voir le point (3) de l'alinéa 1.2.d.

(2) Production de combustibles.

rendement	100 %	90 %	80 %	50 %
prod.comb.liq.(TEP)	6507	5562	4779	1890
fermentat. methanog.(TEP)	828	1424	1885	3679

TABLEAU 4 (Niveaux de production)

On observe sur ce tableau l'inversion du rapport existant entre l'énergie produite par l'activité de production de combustibles liquides et celle produite par l'activité de fermentation méthanogène. Cette inversion s'explique par une demande à peu près constante en fertilisants face à la diminution des deux activités de production de fertilisant que sont la population et l'élevage. Pour compenser cette diminution, la valorisation de la biomasse s'oriente vers la production simultanée d'énergie et de fertilisants.

(3) Production de force motrice mobile.

rendement	100 %	90 %	80 %	50 %
activités de traction destinées à la population	21,4	19	17	10,11
activités de traction à usage productif	49,82	49,14	48,59	46,39
total des activités de traction	71,22	68,14	65,59	56,5

TABLEAU 5 (Niveaux d'activités)

Le nombre de tracteurs à usage productif est à peu près constant, car le critère population maximum tend à l'utilisation de la totalité du sol disponible. La mise en culture de tout le sol réclame un parc de tracteurs qui varie peu.

Dans la mesure où la productivité agricole baisse, la production de biomasse primaire nécessaire à la fabrication du carburant consommé par le parc de traction exige une surface croissante comme cela a été noté ci-dessus ⁽⁸⁾. Le maintien à un niveau fixe de ce parc de matériel et la décroissance de la population expliquent la croissance du travail par tête du volume d'équipements et des échanges.

g) Echanges extérieurs. Les exportations sont constituées par des produits de l'élevage et des fabricats en bois. Le niveau des premières suit la baisse de la productivité agricole, les secondes diminuent moins vite pour compenser les importations de pièces détachées liées à un parc de matériel proportionnellement plus important par rapport à la production totale du système.

⁽⁸⁾ alinéa 4.1.e.

§ 4.2. ÉTUDE N°8 : AUTONOMIE POUSSÉE : SENSIBILITÉ AUX PRIX EXTÉRIEURS

a) Objectif. Dans le cadre de l'autonomie poussée et des techniques 3, on s'intéresse à l'influence d'augmentations des prix extérieurs sur le système productif du régime correspondant à la population maximum.

b) Données. La série comporte 5 jeux de données qui ne diffèrent que par les prix extérieurs : le jeu n° 1 correspond aux prix de base tandis que les jeux n°s 2, 3, 4 et 5 correspondent respectivement au prix de base multipliés par 2, 4, 6 et 8 pour les biens nécessairement importés ⁽¹⁾. Les techniques disponibles correspondent aux techniques 3 et les échanges extérieurs au bloc de l'autonomie poussée sans exportations de travail. Les données modulaires (autres que les prix extérieurs) sont celles de la matrice de base et les dotations sont standard (14 000 hectares de sol agricole et 6 000 hectares de sol forestier) ⁽²⁾. On utilise le seul critère "population maximum" ⁽³⁾.

Les 5 déterminations correspondant à ces données portent les numéros 81 à 85 ⁽⁴⁾.

c) Résultats généraux. Les résultats concernant le sol utilisé, le travail, les équipements et les échanges extérieurs sont résumés par le tableau 1.

On observe une décroissance continue de la population accompagnée d'une croissance continue du temps de travail et des importations par tête en valeur. La décroissance du volume d'équipements par tête ou par hectare à partir de la multiplication par 6 des prix des produits non substituables indique une modification profonde du système productif ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.b. et point (7) de l'alinéa 1.2.b.

⁽²⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.b. et points (1), (3), (5) de l'alinéa 1.2.b.

⁽³⁾ alinéa 1.2.c. .

⁽⁴⁾ la détermination n°81 correspondant au jeu n°1 fait déjà partie de l'étude n°1 avec le n°19.

⁽⁵⁾ On rappelle que l'évaluation en valeur des équipements installés correspond aux prix de base; voir le point (7) de l'alinéa 1.2.b.

régime	1	2	3	4	5
prix extérieurs	x 1	x 2	x 4	x 6	x 8
sol utilisé (HA)	20000	20000	20000	20000	20000
population	20553	18093	11660	8285	6319
travail/tête (H)	4,32	4,63	6,01	6,8	8
équip./tête (KF)	109,81	150,24	197,32	122,85	144,78
équip./ha (KF)	112,84	135,91	115,03	50,89	45,74
import./tête (KF)	7,12	11,64	26,33	29,28	42,28

TABLEAU 1

d) Système agro-alimentaire. L'ensemble des productions alimentaires est aligné sur la population. On observe essentiellement la croissance ⁽⁶⁾ des vergers comme moyen de produire un bien exporté compensant l'augmentation des prix extérieurs :

prix extérieurs	x 1	x 2	x 4	x 6	x 8
Vergers (HA)	103,2	89,02	1931,7	924,9	1731,02

TABLEAU 2

e) Système agro-énergétique et forestier

prix extérieurs	x 1	x 2	x 4	x 6	x 8
cult.énerg.natur(HA)	1045	340	3010	6899	7465
plantat.énerget.(HA)	177	0	0	0	0
exploit. forest(HA)	4800	6000	6000	6000	6000

TABLEAU 3

La croissance des cultures énergétiques naturelles indique une modification de la ressource primaire du système énergétique, lequel s'oriente vers l'usage de la biomasse.

⁽⁶⁾ Voir le point (3) de l'alinéa 1.2.d.

f) Système énergétique

prix extérieurs	x 1	x 2	x 4	x 6	x 8
pompage dist.eau	1,63	1,37	3,16	3,59	4,22
brulages CS-MT					19,38
brulages CS-BT				169,88	133,37
c.Solaires.therm.MT	167,35	122,36	13,41	9,53	
c.Solaires.therm.BT	279,13				
pompes à chaleur		568,32	517,85		
centrales thermiques	5,22	3,69			
moteurs à gaz pauvre				3,58	2,96
éoliennes		36,55	39,45		

TABLEAU 4 (Niveaux d'activités)

Le tableau 4 montre que le régime optimal se modifie, en fonction du prix des pièces détachées, par une limitation des parcs de matériel mis en jeu. Dans un premier temps (prix x 2, x 4), on assiste à la disparition progressive ⁽⁶⁾ des capteurs solaires et à leur remplacement par un système énergétique mobilisant moins de fournitures mais plus coûteux en sol et en équipements; le système énergétique est alors fondé sur l'utilisation des éoliennes couplées à des pompes à chaleur, avec une part d'électricité produite par l'association capteur MT-centrale thermique.

Les régimes suivants font intervenir des brûlages pour la production de chaleur et des moteurs à gaz pour la production d'électricité. Cette évolution s'accompagne de l'extension des cultures énergétiques ⁽⁷⁾ et de la réduction des investissements à l'hectare ⁽⁶⁾.

Au total, le système énergétique passe ⁽⁶⁾ d'un état dans lequel il s'appuie sur la captation intensive des énergies renouvelables par des capteurs physiques non photosynthétiques à un état où il s'appuie sur la captation extensive, biologique, du rayonnement solaire, ce dernier état limitant la consommation de pièces détachées.

⁽⁷⁾ alinéa 4.2.e. ci-dessus

g) Echanges extérieurs. Ils sont résumés sur le tableau 5 :

prix extérieurs	x 1	x 2	x 4	x 6	x 8
exp.fruits (KF)			112462	53053	101995
exp.viandes (KF)	30854	55247	35926	25527	19468
exp.lait (KF)	4210	4582	2952	2098	1600
exp.bois scié (KF)					7681
exp.fabricats bois (KF)	112286	151307	156651	162867	137392

TABLEAU 5

On passe du régime où les prix sont les prix de base au régime suivant par substitution d'une alimentation végétarienne à une alimentation mixte, la première permettant d'exporter davantage de viande. La menuiserie reste à un niveau élevé mais l'équilibre des échanges ne peut s'effectuer que grâce à une nouvelle activité d'exportation, ici de fruits. La butée sur le travail disponible dans le dernier régime impose d'exporter une partie du bois sous forme de bois scié à la place de fabricats en bois.

§ 4.3. ÉTUDE N°9 : EXPORTATIONS SPECIALISÉES SOUMISES A LIMITATIONS : GRAINS

a) Objectif. Dans une situation de libre échange se traduisant par un créneau étroit d'exportations spécialisées, ici de grains d'alimentation animale, et avec les techniques 3, on s'intéresse à l'influence de limitations de la demande du marché extérieur sur le régime correspondant à la population maximum.

b) Données. La série comporte 4 jeux de données pour lesquels les techniques disponibles correspondent au bloc des techniques 3 et les échanges extérieurs au bloc des exportations spécialisées en grains d'alimentation animale ⁽¹⁾. Les données modulaires (y compris les prix extérieurs) sont celles de la matrice de base et les dotations sont standard (14 000 hectares de sol agricole et 6 000 hectares de sol forestier) ⁽²⁾. On utilise le seul critère "population maximum" ⁽³⁾. Cela étant, les 4 jeux de données diffèrent par la limitation imposée au niveau de l'activité d'exportations concernée (activité n°83) : dans la détermination n°1 ce niveau n'est pas limité, alors que, dans les déterminations n°s 2, 3, 4, sont introduits des niveaux max égaux (en chiffres ronds) respectivement à 50 %, 25 % et 12,5 % du niveau obtenu pour le régime optimum de la détermination n°1.

Les 4 déterminations correspondantes portent les numéros 91 à 94.

c) Résultats généraux. Ces résultats sont résumés dans le tableau 1. La baisse de la population suit celle des possibilités d'exportation, mais avec une décroissance moins rapide. Les échanges par tête diminuent, ce qui indique une réorientation des régimes optimaux vers des systèmes de production davantage tournés vers l'autosuffisance.

⁽¹⁾ points (3) et (5) de l'alinéa 1.2.b.

⁽²⁾ point (1) de l'alinéa 1.1.b et point (1) de l'alinéa 1.2.b.

⁽³⁾ alinéa 1.2.c.

régime	1	2	3	4
exp. de grains	80000	40000	20000	10000
population	13118	7892	4150	2143
sol. util. (HA)	20000	20000	17808	9609
travail/tête.jour(H)	3,06	3,56	4,48	4,21
équip./tête (KF)	82,43	92,28	109,46	95,76
éch./tête (KF)	5,41	4,44	4,10	3,73

TABLEAU 1

La réduction du montant des échanges extérieurs se traduit également par l'impossibilité de cultiver la totalité du sol en raison de l'impossibilité d'importer les biens non-autoproduits nécessaires à cette mise en culture. Le facteur limitant est ici le montant des échanges autorisés avec l'extérieur, ce qui est confirmé par la valeur élevée du transfert correspondant à l'activité limitée (voir tableaux de dualité "transferts").

d) Système productif. Le tableau 2 donne, pour l'ensemble des biens pouvant être produits localement mais qui ne le sont pas en totalité dans le régime n°1, l'évolution du pourcentage d'autoproduction.

régime	1	2	3	4
gr.al.hum.		100	100	100
oléagin		100	100	100
biom.ind.	90	100	100	100
fibres an.	6	9,5	9,5	9,5
laits	8,9	100	100	100
fertilis.	3,6	27	100	100

TABLEAU 2 (%)

Dans le régime n°1, on observe déjà l'autoproduction partielle de quelques biens. Cette autoproduction est totale pour le dernier régime, si l'on excepte les fibres animales qui restent principalement importées.

Il apparaît donc qu'une donnée d'échange portant sur une limitation des exportations entraîne une autonomie qualitativement assez proche de celle qu'impose la donnée d'échange "autonomie poussée" ⁽⁴⁾ qui porte sur les importations; sur le plan quantitatif, la population maximum est cependant beaucoup plus faible avec la limitation des exportations qu'avec l'autonomie poussée.

⁽⁴⁾ voir la détermination n°19 (étude n° 1, § 2.1).

§ 4.4. ÉTUDE N°10 : EXPORTATIONS SPECIALISÉES SOUMISES A LIMITATIONS : PRODUITS DE L'ÉLEVAGE

a) Objectif. Dans une situation de libre échange se traduisant par des exportations très spécialisées, ici dans les produits de l'élevage, et avec les techniques 3, on s'intéresse à l'influence de limitations de la demande du marché extérieur sur le régime correspondant à la population maximum.

b) Données. La série comporte 4 jeux de données pour lesquels les techniques disponibles correspondent au bloc des techniques 3 et les échanges extérieurs au bloc des exportations spécialisées en produits de l'élevage ⁽¹⁾. Les données modulaires (y compris les prix extérieurs) sont celles de la matrice de base et les dotations sont standard (14 000 hectares de sol agricole et 6 000 hectares de sol forestier) ⁽²⁾. On utilise le seul critère "population maximum" ⁽³⁾. Cela étant, les 4 jeux de données diffèrent par les limitations imposées au niveau de l'activité d'exportation de viandes (activité n°89) : dans la détermination n°1 ce niveau n'est pas limité, alors que, dans les déterminations n°2, 3, 4 sont introduits des niveaux max égaux (en chiffres ronds) respectivement à 50 %, 25 % et 12,5 % du niveau obtenu pour le régime optimum de la détermination n°1.

Les 4 déterminations correspondantes portent les numéros 101 à 104.

c) Résultats généraux. Ces résultats sont résumés dans le tableau 1. On observe des populations beaucoup plus fortes que celles qui résultent d'exportations spécialisées dans les grains ⁽⁴⁾ et même beaucoup plus fortes que celles qui sont compatibles avec une autonomie, alimentaire ou énergétique, pour les mêmes techniques 3 ⁽⁵⁾ : cela correspond au caractère industriel de l'élevage en question, lequel est totalement "hors sol" pour

⁽¹⁾ points (3) et (5) de l'alinéa 1.2.b.

⁽²⁾ points (1) de l'alinéa 1.1.b et point (1) de l'alinéa 1.2.b.

⁽³⁾ alinéa 1.2.c.

⁽⁴⁾ étude n°9; tableau 1, alinéa 4.3.c.

⁽⁵⁾ étude n°1; tableau 1, alinéa 2.1.c.

le régime n°1, toute la nourriture (des animaux comme des hommes) étant importée.

régime	1	2	3	4
exp.viande (T)	162889	80000	40000	20000
population	438887	277555	152792	88360
sol utilisé (HA)	20000	20000	20000	20000
trav./tête.jour(H)	4,85	4,52	4,36	4,15
équip./tête (KF)	96,83	96,57	94,07	91,71
éch./tête (KF)	11,77	8,7	7,84	6,68

TABLEAU 1

d) Système productif. La baisse de la population pour les régimes 2,3,4 (tableau 1) est concomittante d'une réorganisation ⁽⁶⁾ du système de production agricole et énergétique allant dans le sens de l'autosuffisance, ou au moins d'une plus faible dépendance vis à vis des importations, tout en restant loin de l'autonomie. C'est ce que montre le tableau 2 qui donne le pourcentage d'autoproduction pour les biens productibles localement :

régime	1	2	3	4
comb.sol.		100	100	100
légumes		100	100	100
fruits		100	100	100
gr.al.hum.				
gr.al.anim.			11	52
légumin.				
fourrages				100
biom.ind.		1,2	4,5	9,5
fibres veg.			100	100
bois scié		29	77	100

TABLEAU 2 (%)

⁽⁶⁾ voir le point (3) de l'alinéa 1.2.d.

On souligne l'intérêt que présenterait un modèle de cheminement pour l'analyse des possibilités d'autotransformation du système ⁽⁷⁾ dans le sens d'une moindre dépendance du marché extérieur afin de faire face aux limitations envisagées seulement ici en termes statiques.

⁽⁷⁾ voir le point (5) de l'alinéa 1.2.d. ci-dessus et l'alinéa 1.4.b de (I).,

§ 4.5. ÉTUDE N°11 : VOISINAGE DE LA POPULATION MAXIMUM DANS LA SITUATION DE LIBRE ÉCHANGE

a) Objectif. La situation étant la même que celle de l'étude n°3 ⁽¹⁾, on s'intéresse ici, pour compléter cette étude, aux régimes maximisant la marge d'échanges extérieurs pour des populations fixées au voisinage de la population maximum compatible avec cette situation.

b) Données. La série comporte 7 jeux de données qui sont identiques à ceux des déterminations n°31 à 38, sauf en ce qui concerne les effectifs fixés de la population qui sont pris ici voisins de l'effectif maximum conformément au tableau suivant :

Jeu	1	2	3	4	5	6	7
Population	630000	632000	634000	636000	638000	640000	645176

TABLEAU 1

L'effectif de la population correspondant au jeu n°7 est égal à l'effectif de la population maximum (à une unité près, valeur entière du produit par 100 du niveau de l'activité "population" pour la détermination n°39).

Comme dans l'étude n°3, on utilise le critère "marge d'échanges extérieurs maximum" ⁽²⁾.

Les déterminations correspondantes portent les numéros 111 à 117.

⁽¹⁾ § 2.3.

⁽²⁾ alinéa 1.2.c.

c) Résultats généraux. En dehors du régime n° 1 où une faible part des échanges extérieurs (de l'ordre de 4 %) est assurée par l'exportation d'électricité, l'ensemble des résultats montre une totale stabilité du système productif. Il n'y a aucune production agricole, les installations occupant tout le sol disponible. Seule une faible partie du sol agricole, occupée par le réseau de distribution de l'eau, n'est pas banalisée. La production de chaleur MT (destinée à la préparation des aliments) est assurée par brûlage de combustible solide. La production de chaleur BT et d'électricité s'effectue par l'usage des moteurs à gaz pauvre (production combinée). Tous les biens nécessaires sont importés, la compensation s'effectuant uniquement par exportation de travail.

Le niveau des diverses activités suit sensiblement l'effectif de la population, à l'exception des activités de traction (baisse de 40 %), de mécanique (baisse de 20 %), d'exportation de travail (baisse de 60 %).

Le tableau 2 résume ces variations :

Régime	Niveaux des activités		
	Traction	Mécanique	Exportation de travail
1	2499	388	6745
2	2469	386	6620
3	2328	379	6072
4	2197	371	5524
5	2047	362	4976
6	1906	354	4428
7	1542	317	3008

TABEAU 2

De plus, on constate une diminution du temps de travail par tête et par jour, lequel décroît jusqu'à 4,57 heure. Le tableau 3 indique les valeurs des indicateurs utilisés dans l'étude n° 3 :

Régime	Trav/tête.jour (H)	Marge ech. ext.tot. (MF)	Marge ech. ext/tête (KF)	Marge ech. ext./Equipt (%)	Equipts/tête (KF)	Importation /tête (KF)
1	8	5972	9,48	16,08	58,95	7,43
2	7,87	5304	8,39	14,28	58,76	7,32
3	7,36	4500	7,10	12,14	58,48	7,27
4	6,95	3695	5,81	9,98	58,2	7,22
5	6,35	2891	4,53	7,82	57,92	7,17
6	5,85	2086	3,26	5,66	57,64	7,12
7	4,57	6	0,00	0,00	56,94	6,99

TABLEAU 3

Hormi les importations et les équipements par tête dont la faible décroissance traduit la diminution des activités évoquées ci-dessus (tableau 2), la baisse rapide de tous les indicateurs caractérisant la "rentabilité" du système semble contradictoire avec le fait qu'il reste beaucoup de travail disponible à exporter. Cette contradiction n'est qu'apparente et traduit la répartition du sol entre les activités intérieures et l'activité d'exportation de travail : la limitation du travail est due principalement à la mobilisation du sol par l'activité de traction, elle-même nécessaire à l'exportation du travail. L'examen des valeurs duales va permettre d'explicitier quantitativement cette analyse.

d) Examen des valeurs duales. Les valeurs duales dont la variation est significative sont indiquées dans le tableau 5 ci-après où on a ajouté, comme bases de comparaison, les valeurs duales correspondant aux effectifs de 300000 et de 600000 pour la population (déterminations n^{OS} 36 et 38, étude n^O 3) :

Régime	Population	Valeurs duales			
		Travail	Sols	Force motrice mobile	Matériaux construction
	300000	4,09	23	6,27	0,268
	600000	1,217	1076	5,4	0,395
1	630000	0,298	10058	25	1,8
2	632000	0	12974	31,6	2,27
3	634000	0	12974	31,6	2,27
4	636000	0	12974	31,6	2,27
5	638000	0	12974	31,6	2,27
6	640000	0	12974	31,6	2,27
7	645176	0	13006	31,6	2,27

TABLEAU 4

Ces valeurs montrent clairement l'importance du sol en tant que facteur limitant et appellent les remarques suivantes :

- la valeur duale du travail diminue rapidement et devient nulle à partir de 632000, tout le travail disponible n'étant plus utilisé;

- la valeur duale des sols monte très rapidement; elle décuple pratiquement entre 600000 et 630000;
- les valeurs duales des biens dont la production ou l'importation sont fortes consommatrices d'espace augmentent très rapidement; celle de la force motrice est multipliée par 6 et les matériaux de construction voient leur valeur duale atteindre dix fois le prix extérieur.