

LI

50374  
1997  
204

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE I  
Faculté des Sciences Economiques et Sociales



**Compétitivité et protection de l'environnement**

**L'apport des modèles bio-économiques  
dans l'évaluation des politiques agricoles**

Thèse

Pour le Doctorat en Sciences Economiques

Soutenue par Henri-Bertrand LEFER

le 7 janvier 1997

Jury :

Directeur de Recherche :

Monsieur Jean-Philippe BOUSSEMART, Professeur à l'Université de la Réunion

Rapporteurs :

Monsieur Jean-Marie BOISSON, Professeur à l'Université de Montpellier

Monsieur Jean-Marc BOUSSARD, Directeur de Recherches à l'INRA

Assesseurs :

Madame Laurence BROZE, Professeur à l'Université de Lille III

Monsieur Nicolas VANEECLOO, Professeur à l'Université de Lille I



## ***REMERCIEMENTS***

Je tiens à remercier, ici, très vivement :

Monsieur Jean-Philippe BOUSSEMART qui a dirigé cette recherche, et Monsieur Jean-Marc BOUSSARD. Leur expérience et leurs précieux conseils m'ont conduit. Leur forte implication m'a touché.

Madame Florence JACQUET et Monsieur Guillermo FLICHMAN qui m'ont intégré aux projets POLEN et Agriculture Demain, à l'origine de cette thèse. Leurs compétences et leur amitié m'ont beaucoup aidé.

Messieurs les directeurs Jean-Claude SAILLY et Francis CALCOEN, et l'ensemble des membres du LABORES qui ont accueilli et soutenu mon projet.

Monsieur le directeur de l'Institut Supérieur d'Agriculture de Lille, Pascal CODRON et Le Conseil Régional du Nord-Pas-de-Calais, qui m'ont manifesté leur intérêt et leur soutien en finançant mes travaux durant trois années.

Antoine LEFEBVRE, Pierre POUILLARD, Nicolas DILLIES et Christophe LAPIERRE qui ont participé à cette entreprise au cours de leur stage d'étudiant.

Madame Annette LEGRAND qui a veillé au style et à l'orthographe et qui m'a apporté les bienfaits de sa présence.

Et toutes les personnes que j'ai rencontrées pour réaliser ce travail et qui m'ont donné de leur temps et de leur savoir.

# SOMMAIRE

---

RÉSUMÉ.....	1
INTRODUCTION.....	2
I AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT : LES ENJEUX ECONOMIQUES .....	5
SECTION I : AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT : HISTOIRE D'UNE RUPTURE.....	5
SECTION II : ENJEUX POLITIQUES DE L'ENVIRONNEMENT.....	10
SECTION III : LA VALEUR ECONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT : L'HERITAGE NEOCLASSIQUE.....	21
II FONCTIONS DE PRODUCTION ET MESURE DE L'OFFRE AGRICOLE .....	28
SECTION I : LA FONCTION DE PRODUCTION EN ECONOMIE AGRICOLE.....	29
SECTION II : LES FORMES ANALYTIQUES ET L'INFERENCE STATISTIQUE.....	30
SECTION III : LES MODELES DE SIMULATION DE CROISSANCE DES PLANTES.....	32
SECTION IV : LA PROGRAMMATION LINEAIRE ET LA MODELISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES .....	38
III LES MODELES BIO-ECONOMIQUES COMME OUTIL D'ANALYSE ECONOMIQUE : LES IMPACTS DE LA REFORME DE LA P.A.C. DANS LE HAUT PAYS D'ARTOIS.....	45
SECTION I : LA REFORME DE LA P.A.C. ....	45
SECTION II : MONOGRAPHIE DU HAUT PAYS D'ARTOIS .....	53
SECTION III : LA MODELISATION AGRONOMIQUE DE L'EXPLOITATION.....	64
SECTION IV : MODELISATION ECONOMIQUE DE L'EXPLOITATION.....	71
SECTION V : CONSEQUENCES ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES DE LA REFORME DE LA P.A.C. : LES REPONSES DU MODELE.....	80
IV L'IMPACT ECONOMIQUE ET ECOLOGIQUE DE LA REFORME DE LA P.A.C. ....	95
SECTION I : APPLICATION A LA BEAUCE .....	95
SECTION II : APPLICATION AU LAURAGAIS, AUX COTEAUX DU GERS ET AUX VALLEES ET TERRASSES DE HAUTE-GARONNE .....	105
SECTION III APPLICATION A L'ARTOIS .....	117
SECTION IV : APPLICATION AU BARROIS.....	126
SECTION V : QUE FAUT-IL RETENIR DE CES APPLICATIONS ? .....	145

V LES MESURES RÉGLEMENTAIRES OU LA CONTRAINTE D'ENVIRONNEMENT IMPOSÉE .....	153
SECTION I : LE CONTROLE A LA SOURCE : LA TAXE A L'ENGRAIS.....	153
SECTION II : LE CONTROLE A L'EMISSION : LA REDEVANCE DE POLLUTION.....	157
SECTION III : LE CONTROLE DIRECT : LA NORME DE POLLUTION .....	167
SECTION IV : TAXE A L'ENGRAIS, REDEVANCE DE POLLUTION, NORME : QUE CHOISIR ?.....	172
CONCLUSION .....	176

BIBLIOGRAPHIE

SIGLIER

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET GRAPHIQUES

ANNEXES

La préservation de l'environnement sera l'une des priorités des prochaines politiques agricoles. La volonté est clairement affichée de promouvoir une agriculture respectueuse du milieu naturel s'inscrivant dans une démarche plus globale d'un développement durable de l'espace rural. Que produire ? En quelle quantité ? Comment ? pour quelle performance économique et à quel coût écologique ? seront les questions centrales du débat.

Répondre à de telles questions exige des outils d'évaluation socio-économiques capables de considérer l'environnement comme une variable supplémentaire du jeu stratégique du producteur. Ceci demande d'abord d'associer aux actifs naturels une valeur économique, puis d'intégrer celle-ci dans les processus du marché. Il devient alors possible de définir et d'analyser différents scénarios susceptibles de concilier les intérêts économiques de l'exploitant et écologiques de la collectivité.

La modélisation bio-économique qui couple un modèle de croissance des plantes, ici E.P.I.C.<sup>1</sup>, et une maquette de programmation linéaire permet de reproduire la fonction de production et celle de dommages (pollution par les nitrates) associée pour simuler le comportement d'optimisation du producteur dans son univers agronomique. On peut dès lors analyser les impacts en termes de revenu, d'emblavement, de techniques de production, et de lessivage de nitrates de différents scénarios de politique agricole et d'environnement.

Une telle approche tranche avec la démarche économétrique traditionnelle en se libérant du recours à l'inférence statistique et du choix, souvent peu satisfaisant, d'une forme analytique pour modéliser la fonction de production. Elle évite également de déterminer la valeur des biens d'environnement à partir des méthodes habituellement utilisées, mais parfois aléatoires, des marchés de substitution ou de l'évaluation contingente.

La modélisation de la réforme de la P.A.C. de 1992, à l'échelle de sept régions françaises et de différentes mesures pour lutter contre la dégradation des nappes par les nitrates d'origine agricole montrent l'intérêt d'un tel outil pour promouvoir des techniques de production "propres" et rentables et évaluer les impacts socio-économiques des politiques.

---

<sup>1</sup>Erosion Productivity Impact Calculator.

## INTRODUCTION

---

Trop facilement considérées comme un bien inépuisable et sans valeur propre, les ressources naturelles ont fait l'objet, pendant longtemps, de gaspillages démesurés. La frénésie du développement industriel au service d'une consommation de masse ajoutée à une inconscience collective certaine, ont occulté les risques d'une utilisation immodérée des actifs naturels. Aujourd'hui, le constat est sévère. Les marchés occidentaux sont saturés, le chômage est endémique, la pollution menace les écosystèmes.

Si l'opinion s'émeut depuis peu, devant la dégradation, quelquefois irréversible, des milieux et ressources naturels, craignant pour son avenir et celui de ses enfants, les économistes, dès le XVIII<sup>ème</sup> siècle, avec les physiocrates, tentent d'intégrer les biens d'environnement dans leur approche de l'activité marchande de l'Homme.

Dans l'optique néoclassique, l'imperfection du prix accordé aux biens et services d'environnement explique que le marché ne puisse assurer efficacement l'allocation optimale de ces ressources. C'est pourquoi, la consommation des actifs naturels conduit généralement à l'apparition d'effets dits externes (tels la pollution) car imposant "à d'autres des coûts que le marché ne permet pas de compenser" (OCDE, 1994). L'enjeu est donc de donner une valeur réelle à ces effets afin qu'ils soient financièrement pris en compte dans le processus de production et se trouvent ainsi réguler par le marché lui-même. On parle d'internalisation des effets externes.

Dans le secteur agricole on sait bien que les prix des facteurs de production et des produits ne prennent pas en compte les impacts sur le milieu naturel de l'activité. Le prix du blé ou du kilo d'engrais reste indépendant de la pollution des eaux ou de l'épuisement du sol que peut engendrer l'agriculture.

De plus, les pouvoirs publics, par leur volonté affirmée de soutenir l'activité agricole, mettent souvent en place des politiques qui renforcent l'incapacité du marché à réguler l'emploi des ressources (FORD RUNGE, 1994). En effet, maintenir artificiellement le prix des produits à un niveau élevé et celui des facteurs de production à un niveau bas, encourage une exploitation intensive du milieu naturel.

Ainsi, jusqu'à sa réforme en 1992, la Politique Agricole Commune a pour objectif principal la sécurité alimentaire<sup>2</sup>, les préoccupations d'environnement arrivant manifestement au second plan. Une telle politique a encouragé pendant des années un excédent de production et le recours à des pratiques agricoles très intensives en termes d'intrants et fondées sur une mise en culture continue des terres sur la base de rotations culturales courtes. Si ces comportements ont eu pour conséquences, le gonflement énorme du budget et des stocks européens, ils ont également conduits à l'érosion accrue des sols et surtout à la dégradation de la qualité des nappes phréatiques, de plus en plus contaminées par les nitrates et les traitements chimiques

---

<sup>2</sup> Et pour cela les prix des produits ont été garantis et ceux des intrants subventionnés .

d'origine agricole<sup>3</sup>. C'est ainsi que, dans de nombreuses zones d'Europe, les seuils maximaux de potabilité de l'eau sont dépassés.

Face à ces excès, à une pression grandissante de l'opinion publique quant à la responsabilité de l'agriculture dans la dégradation des ressources naturelles, mais surtout à l'urgence du problème, le législateur commence à réagir. Dans ce sens, la réforme de la Politique Agricole Commune de 1992, en abandonnant (quasiment) le système des prix garantis et en instituant le gel des terres, devrait avoir des conséquences positives sur l'environnement. Cependant, réformer les règles des échanges agricoles ne saurait suffire, et des actions plus ciblées doivent être mises en place pour lutter efficacement contre la dégradation du milieu naturel. A ce propos, "la méthode la plus efficace consistera (...) dans une combinaison de politiques agricoles et commerciales et de politiques de l'environnement" (FORD RUNGE, 1994).

La régulation par le marché seul reste très théorique et l'intervention d'un agent extérieur semble indispensable pour défendre les intérêts de l'environnement et répartir les avantages et les coûts engendrés à l'occasion de l'internalisation des externalités (VERMERSCH, 1992). De plus, la gestion économiquement optimale des ressources naturelles ne conduit pas forcément à la réalisation d'objectifs satisfaisants pour la nature (VIVIEN, 1994).

Dans ces conditions, la définition des objectifs écologiques appartient aux professionnels de la nature, les économistes n'intervenant que pour étudier les moyens de parvenir à ces objectifs au moindre coût économique. Parmi ces moyens, le principe "pollueur payeur" est celui qui apparaît comme le plus fondé.

Mais l'application d'un tel principe n'est pas simple : comment mettre en place un système efficace, équitable et commode, qui concilie les intérêts écologiques de la collectivité, qui sont de l'ordre du long terme, et les intérêts économiques de l'exploitant agricole, qui sont plutôt du court terme ?

De plus, la responsabilité respective de chaque agent dans la dégradation du milieu naturel reste difficile à déterminer. D'une part parce que les exploitants agricoles ne sont pas toujours les seuls en cause (le vent et la pluie participent à l'érosion des sols de la même manière que les pratiques agricoles...). D'autre part, la relation entre le comportement des agents et la dégradation du milieu n'est pas toujours évidente et nécessite, pour pouvoir être établie, une information souvent non disponible ou incomplète.

Enfin, les expériences du passé sont peu nombreuses et inadaptées pour servir de référence aux politiques à promouvoir.

Dans ces conditions, les modèles bio-économiques, qui couplent un modèle de croissance des plantes permettant de relier fonction de production et fonction de dommages pour l'environnement, notamment en termes de pertes de nitrates, et une maquette mathématique qui optimise la performance économique de l'entreprise et les choix productifs par type

---

<sup>3</sup> La FAO a indiqué lors de la 17<sup>ème</sup> Conférence régionale pour l'Europe quatre problèmes majeurs :  
- la pollution et la contamination du sol, de l'eau, de l'air et des denrées alimentaires issues de l'utilisation accrue de produits chimiques en agriculture et des effluents d'élevages.  
- la dégradation des ressources naturelles : détérioration de la qualité des sols, de l'eau, des forêts et des paysages ruraux traditionnels.  
- la perturbation et la réduction des biotopes et des habitats faunistiques.  
- la réduction des espèces sauvages et la perte de la diversité biologique et génétique. (in FORD RUNGE, 1994).

d'exploitation et région, apparaissent comme des outils d'évaluation des politiques agricoles et d'environnement intéressants.

L'histoire de la simulation agronomique moderne commence avec la modélisation du comportement physiologique des plantes à partir de certaines variables exogènes telles que la température, la pluviométrie, l'ensoleillement, etc., afin d'accélérer le processus de connaissance scientifique en anticipant les résultats de l'expérimentation. Cette première génération de modèles (modèles C.E.R.E.S.<sup>4</sup>) a été suivie par des outils qui simulent certains processus liés au sol, ressource jusque là considérée de manière exogène, tels que la dynamique des nutriments, les phénomènes d'érosion, les influences des rotations et des façons culturales, etc.

Associer E.P.I.C. (Erosion Productivity Impact Calculator), modèle agronomique de ce type, à un modèle mathématique d'optimisation a montré, récemment, comment les modèles bio-économiques pouvaient participer à l'élaboration d'une agriculture durable, notamment en termes de préservation du sol dans des provinces du Burkina-Faso et d'Argentine (DEYBE, 1995).

Nous nous proposons, ici, d'en reprendre le principe pour l'appliquer à la gestion des ressources en eau en pays développé.

Dans un premier chapitre nous évaluons les enjeux de la valorisation économique des externalités liées à l'environnement en agriculture et présentons les outils d'application du principe du "pollueur payeur", notamment dans le cadre de la lutte contre les nitrates d'origine agricole. Le second chapitre resitue les modèles bio-économiques par rapport aux approches économétriques traditionnelles et montre leur intérêt pour l'analyse des impacts technico-économiques et écologiques de politiques agro-environnementales nouvelles.

Les conséquences de la réforme de la P.A.C. sont ainsi analysées, d'abord à l'échelle du Haut Pays d'Artois, pour présenter la démarche méthodologique (chapitre III), puis au niveau de six autres petites régions agricoles françaises (chapitre IV). Suite à ces résultats, on tente, dans le cinquième chapitre, d'appliquer la modélisation bio-économique à d'autres politiques d'environnement, plus réglementaires, telles que la taxation des engrais, la redevance et la norme de pollution.

---

<sup>4</sup> Crop Environment Resource Synthesis .

## AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT : LES ENJEUX ÉCONOMIQUES

---

### SECTION I : AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT : HISTOIRE D'UNE RUPTURE

L'homme agricole par son activité, interagit sur le milieu naturel et le transforme. Du premier coup de houe de l'histoire de l'humanité au déboisement de la forêt amazonienne, l'homme détruit cet équilibre, dit naturel. En d'autres termes, il intervient sur un milieu biologique donné où animaux et végétaux vivent en équilibre<sup>1</sup> et dont à l'origine, il est exclu. Son intervention va perturber cet équilibre originel jusqu'à l'obtention d'un nouvel équilibre dont il sera lui-même alors l'un des éléments.

La valeur de l'équilibre originel en tant que tel est discutable et ses inconditionnels oublient souvent qu'il s'agit d'un équilibre dynamique donc instable et évolutif. Les nostalgiques des dinosaures peuvent regretter l'apparition des mammifères et la destruction des forêts du carbonifère.

Une position plus rationnelle et partagée par beaucoup est de distinguer dans l'évolution des équilibres naturels, l'influence de l'action de l'homme et d'en évaluer la portée positive ou négative pour l'humanité. L'homme comme super-prédateur<sup>2</sup> est en mesure d'influer fortement (jusqu'à la disparition) sur la destinée des êtres vivants qui l'entourent. Mais comme animal pensant, il reste capable<sup>3</sup> d'évaluer les conséquences de son comportement.

Pendant des siècles, l'activité agricole a reposé sur un subtil équilibre entre la consommation des ressources naturelles comme facteurs de production et la préservation de ces mêmes ressources comme capital : produire aujourd'hui pour pouvoir encore produire demain. Source de bienfaits (agrément des paysages, lutte contre l'érosion, maintien de la biodiversité...), l'agriculture a été pendant très longtemps peu ou non néfaste pour l'environnement dans la mesure où la technologie et le système des prix relatifs des productions et des intrants favorisaient une activité peu intensive et valorisant au maximum déchets et sous-produits comme source d'économies internes (VERMERSCH, 1995). C'est ainsi, par exemple, que

---

<sup>1</sup> C'est la notion de biocoenose.

<sup>2</sup> Par sa position dans la chaîne alimentaire mais aussi par son comportement social.

<sup>3</sup> Mais il ne le fait pas toujours et les défenseurs de la Nature regrettent que seules les considérations sur le bien-être de l'homme président à l'analyse et aux décisions et font valoir que les autres êtres vivants, qui ne peuvent exprimer leurs préférences, devraient bénéficier d'un statut propre.

l'éleveur est devenu cultivateur car il était intéressant d'utiliser les déjections animales pour fertiliser ses cultures dont les co-produits alimentaient le cheptel.

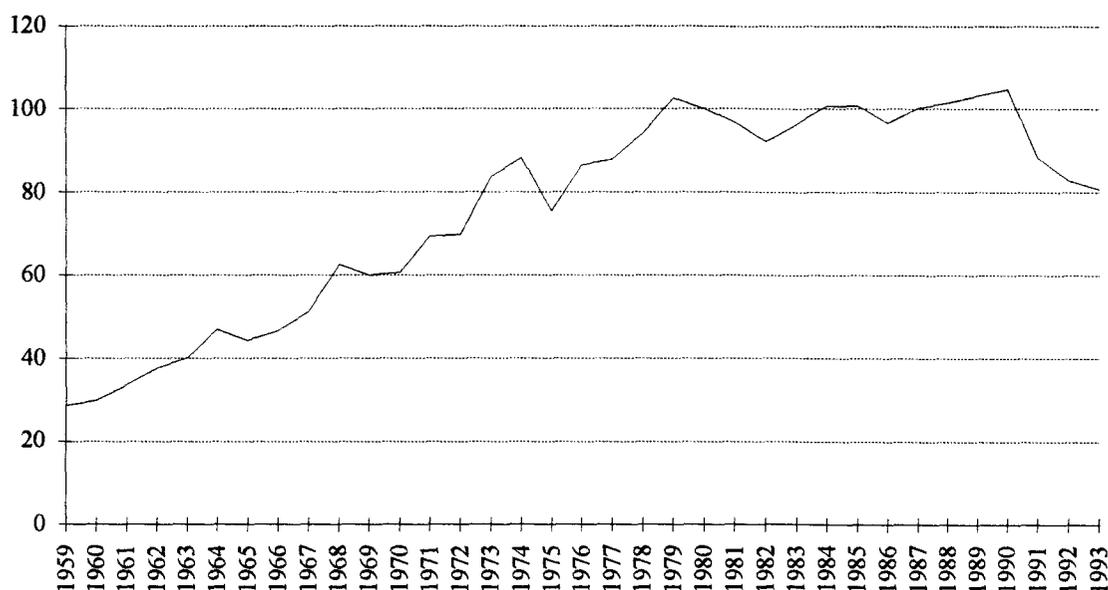
Par conséquent, le milieu naturel étant très peu dégradé, le facteur de production que constitue la nature pouvait être gratuit, cela "ne constituait pas systématiquement une source d'inefficacité dans l'allocation maximale des ressources". De plus, le droit de propriété de l'agriculteur sur le milieu naturel en tant que propriétaire terrien était accepté et non limitatif.

Aujourd'hui, ce droit de propriété implicite des agriculteurs sur la nature, est de plus en plus contesté par l'opinion publique. Il est vrai que depuis l'après-guerre, les évolutions structurelles et techniques de l'agriculture se sont accompagnées d'agressions de plus en plus graves du milieu naturel.

La révolution technologique a fortement joué dans l'expansion de la mécanisation agricole et l'affranchissement des contraintes naturelles que sont les forces humaines et animales et la fertilité des sols. Mais c'est surtout depuis la fin des années cinquante, période de mise en place de la Politique Agricole Commune, que le visage de l'agriculture moderne se généralise. Le système des prix garantis et des primes à la production associé à la forte innovation technique ont largement incité les agriculteurs à se spécialiser et à recourir aux marchés externes pour acquérir une grande part des facteurs de production. Ainsi, une agriculture archaïque quasi-autarcique construite autour d'économies internes disparaît au profit d'une agriculture plus productive mais dépendante de marchés technologiques extérieurs.

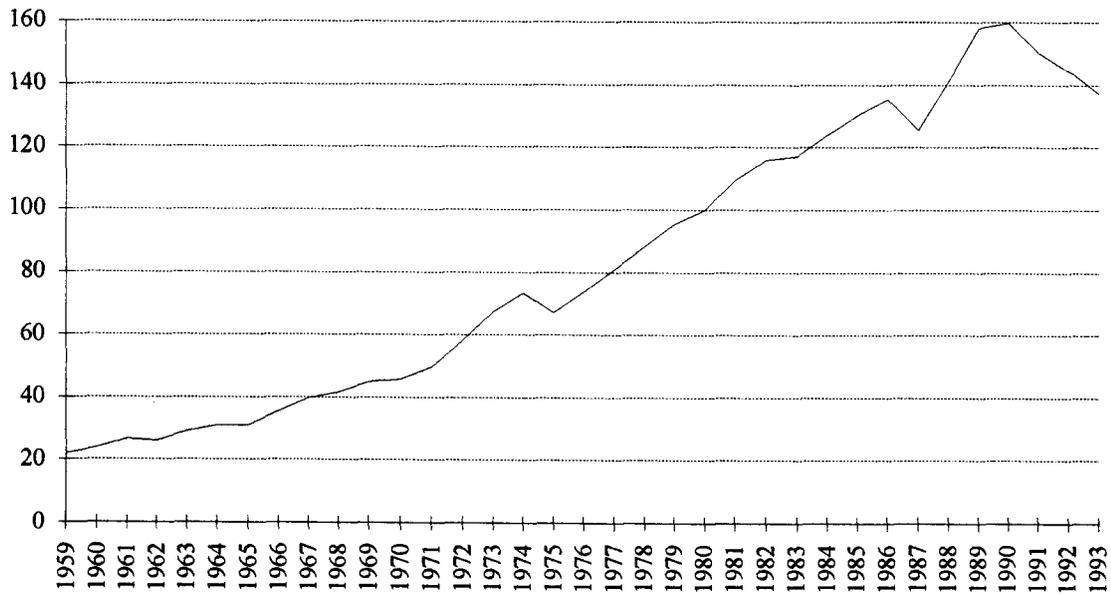
En France, par exemple, la consommation d'engrais a plus que triplé entre 1959 et 1990 (graphique 1). Celle de produits phytosanitaires a été multipliée par sept (graphique 2).

Graphique n°1 : Evolution des volumes consommés d'engrais en France (indice 100, 1980)



Source : Comptes de l'agriculture française INSEE

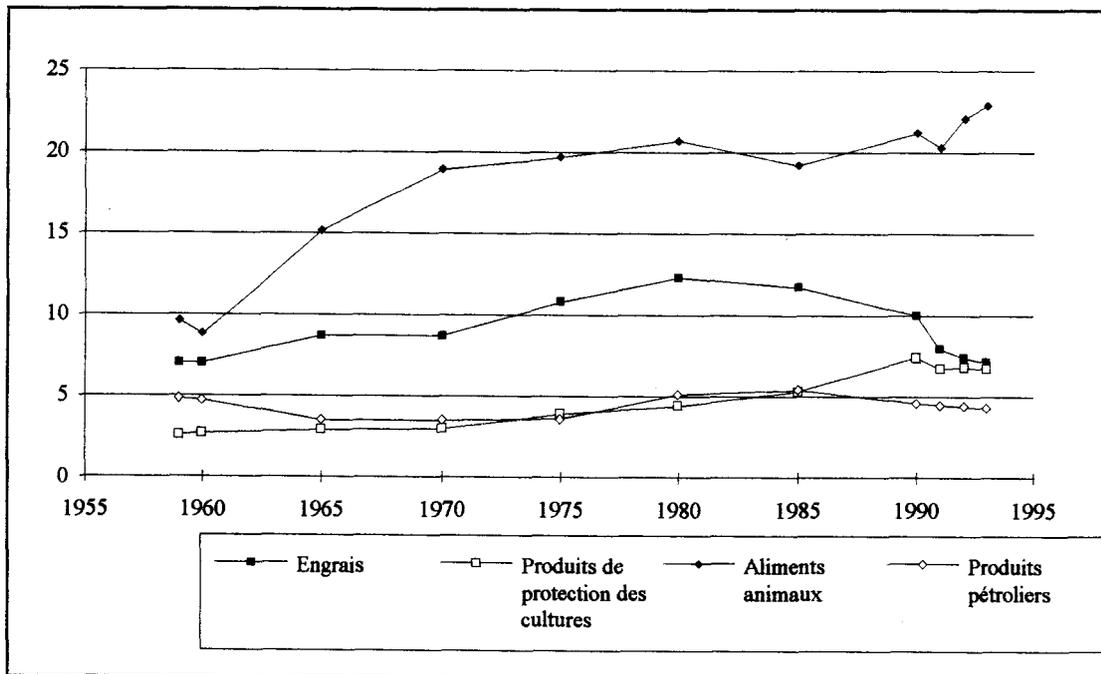
Graphique n°2 : Evolution des volumes consommés de produits phytosanitaires en France (indice 100, 1980)



Source : Comptes de l'agriculture française INSEE

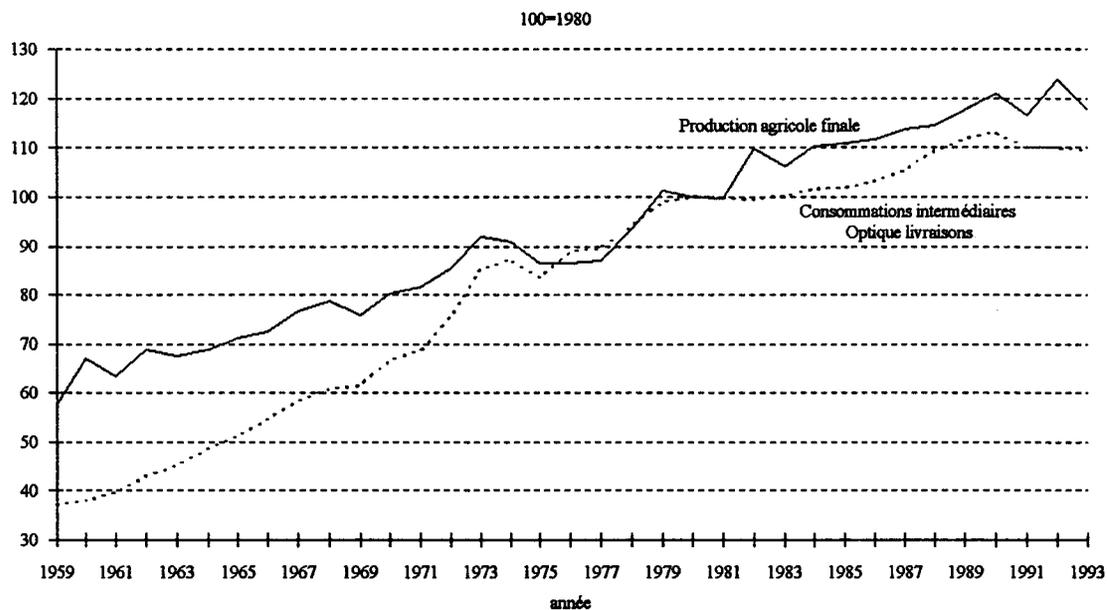
La part des dépenses d'engrais dans les consommations intermédiaires passe de 7 % en 1959 à plus de 12 % en 1980. Celle des produits de protection des cultures de 2,6 à 7,4 % en 1990 (graphique 3).

Graphique n°3 : Evolution de la part (%) des dépenses des quatre principales consommations intermédiaires hors produits agricoles en France



Source : Comptes de l'agriculture française INSEE

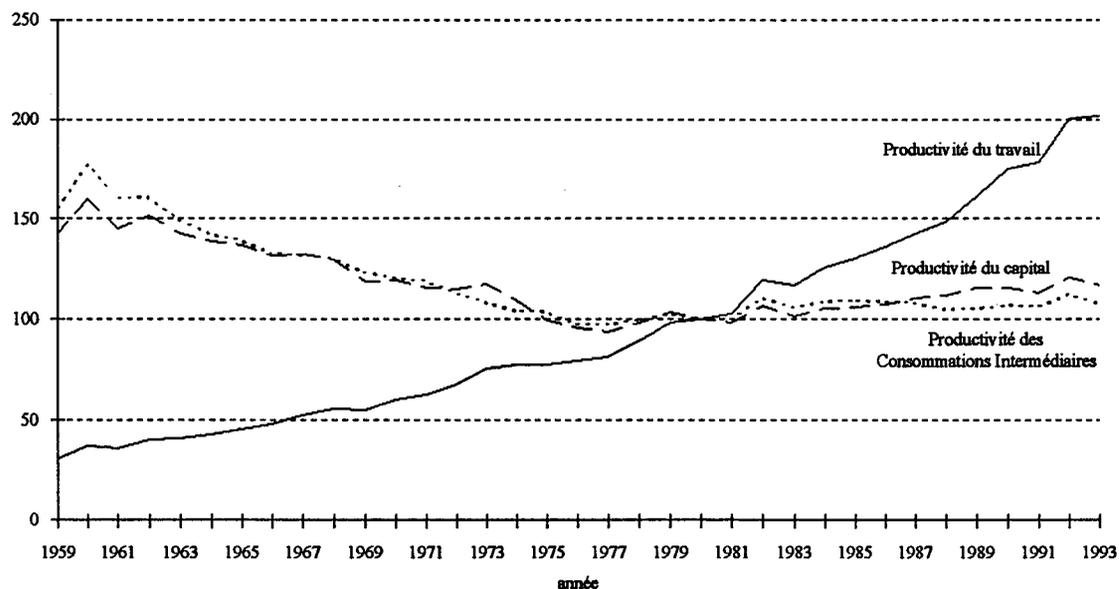
Graphique n°4 : Evolutions comparées des volumes des consommations intermédiaires et de la production agricole finale en France (indice 100, 1980)



Source : BOUSSEMART, DAVAUT, PLETZER, MASSON (1994)

Depuis 1959, la productivité du travail ne cesse d'augmenter. En revanche celle des consommations intermédiaires a diminué pour se stabiliser à partir des années 80, suite, à la fois, à l'augmentation de la performance des produits fertilisants et de traitement, et aux progrès de la production raisonnée qui permettent la diminution des doses appliquées (graphique 5).

Graphique n°5 : Evolutions comparées des productivités partielles en France (indice 100, 1980)



Source : BOUSSEMART, DAVAUT, PLETZER, MASSON (1994)

Une telle politique de soutien de l'agriculture a permis d'assurer l'indépendance alimentaire de l'Europe, de garantir un niveau de vie acceptable aux agriculteurs, de développer un secteur para-agricole puissant. En contrepartie, les exploitations agricoles des pays développés arrachent les haies et comblent les fossés pour constituer de vastes parcelles sur lesquelles les phénomènes d'érosion ne sont pas négligeables. De telles étendues sont indispensables à la rentabilité de matériels sophistiqués mais souvent très lourds et qui peuvent contribuer à détruire la structure des sols et en limiter la productivité. De plus, un grand nombre de produits phytosanitaires sont utilisés de façon quasi-systématique dans la lutte contre les maladies et les prédateurs, des quantités d'engrais importantes sont apportées pour augmenter les rendements. Ces produits, présents dans le sol, les masses d'eau, les produits alimentaires, représentent des risques pour la santé de l'homme, mais aussi dans le cas de la contamination des eaux, contribuent au déclin de la ressource aquatique, à la perte de valeur récréative des sites, à l'augmentation des coûts d'approvisionnement en eau. Le développement de l'élevage intensif accentue ces phénomènes de pollutions des eaux et des sols, mais aussi de l'air. Enfin, le développement de la monoculture, la concentration des exploitations, le drainage des sols humides, la destruction des bâtiments traditionnels, la suppression des haies, etc. sont des éléments favorisant la dégradation des paysages et des habitats des espèces sauvages.

Ces schémas de production se généralisent d'autant plus que des facteurs technico-économiques et sociologiques modernes les favorisent. Ainsi, la course à la sur-utilisation des engrais et des traitements chimiques trouve son origine dans plusieurs raisons (OCDE, 1989) :

- Les coûts marginaux des augmentations des taux d'application de ces produits sont peu élevés, alors que les coûts fixes constituent la majeure partie des coûts globaux.
- Les rendements potentiels de chaque parcelle ne sont pas connus avec précision, ni l'influence réelle des conditions météorologiques et des maladies. Dans ces conditions, la sur-utilisation des produits chimiques constitue la stratégie optimale de réduction des risques.
- Les agriculteurs ne connaissent pas réellement la valeur fertilisante des effluents animaux qu'ils considèrent, souvent, plutôt comme un déchet à évacuer que comme un produit qui leur permettrait de faire des économies sur les engrais chimiques.
- La densité du bétail dans les exploitations est trop élevée.
- La fierté de l'agriculteur est de produire de hauts rendements et d'avoir des champs indemnes de maladies et d'adventices.

Ces agressions contre le milieu naturel sont aujourd'hui fortement condamnées, d'autant plus que le contexte économique a changé et que les objectifs productivistes sont quelque peu remis en cause en ces temps de surproduction<sup>4</sup>. La sauvegarde de l'environnement prend une dimension nouvelle parce que, bien sûr, la dégradation des ressources naturelles peut menacer directement ou indirectement la santé de l'homme, mais aussi parce qu'intégrer des objectifs d'environnement dans la politique agricole peut contribuer à maîtriser la production.

---

<sup>4</sup> Quand les aléas climatiques ne viennent pas détruire les récoltes russes ou américaines....

## SECTION II : ENJEUX POLITIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

### II.1 UNE PRISE DE CONSCIENCE

C'est en 1985, dans le "Livre Vert", que la Commission Européenne reconnaît à l'agriculture, non plus seulement sa fonction de production alimentaire, mais aussi celle de protection de l'environnement. En 1987, l'Acte Unique pose les bases juridiques de la politique d'environnement de la Communauté et en fait une politique commune à part entière et une composante obligée des autres politiques communautaires. Les objectifs affichés sont :

- prévenir, réduire et dans la mesure du possible supprimer les pollutions et nuisances.
- maintenir un équilibre écologique satisfaisant et veiller à la protection de la biosphère.
- veiller à la bonne gestion des ressources et du milieu naturel et éviter toute exploitation de ceux-ci entraînant des dommages sensibles à l'équilibre écologique.
- orienter le développement en fonction d'exigences de qualité, notamment par l'amélioration des conditions de travail et du cadre de vie.
- faire en sorte qu'il soit davantage tenu compte des aspects de l'environnement dans l'aménagement des structures et du territoire.
- rechercher avec les Etats non membres, des solutions communes aux problèmes d'environnement par le biais des organismes internationaux.

Six principes sont alors affirmés concernant la priorité de l'action préventive, la compétence internationale de la C.E.E., l'harmonisation des politiques nationales, la subsidiarité, l'information et l'éducation de l'opinion publique et l'application du principe "pollueur-payeur".

La réforme de la P.A.C. mise en place en 1992 a pour volonté de résoudre les problèmes économiques d'excédents au moyen d'un programme de gel de terres et de réduction des prix garantis. Mais il semble peu probable que ces seules mesures suffisent à réduire efficacement les pollutions d'origine agricole<sup>5</sup>. Consciente de ces limites, la Communauté a donc défini un certain nombre de mesures d'accompagnement à la réforme, positives, notamment structurelles, et correctives ou législatives (APCA, 1991a).

Les mesures positives prévues comprennent, outre le gel des terres, l'incitation financière à produire de manière moins intensive<sup>6</sup>. Le but principal de ces mesures est avant tout d'ajuster le potentiel de production aux besoins des marchés. Cependant les conséquences écologiques de l'existence de parcelles gelées (non "abandonnées", mais ayant un couvert végétal), de la réduction volontaire des rendements et des chargements, du choix délibéré de techniques moins intensives devraient être incontestables. L'application de telles mesures envisage des compensations pour les pertes de revenus dues à une réduction de la production ou à l'augmentation des coûts de production, ainsi que pour le rôle joué en faveur de l'environnement.

Les mesures législatives regroupent toute une série de directives applicables à l'agriculture et concernant la pollution des eaux, l'utilisation des boues d'épuration, les produits de traitements

---

<sup>5</sup> Des études au Danemark ont montré que pour obtenir une baisse de 30 à 35 % des taux optimaux d'azote, les prix des récoltes devraient baisser de près de 50 %, niveau peu réaliste (RUDE et DUBGAARD, 1989 cités dans DUBGAARD, 1991).

<sup>6</sup> Des mesures encourageant la reconversion de certaines productions excédentaires vers d'autres productions non excédentaires étaient aussi envisagées. Cependant, l'absence d'accord sur les produits de reconversion a rendu cette mesure non applicable actuellement (APCA, 1991a).

phytosanitaires, la défense des paysages, la protection des espèces sauvages et de leur habitat, le bruit des matériels agricoles, etc.

Le cadre européen fixé, les Etats membres disposent d'une large marge de manoeuvre dans l'application des mesures agri-environnementales. Ainsi en France, le ministère de l'agriculture entend privilégier l'extensification de l'élevage, la production biologique, le boisement et un plan de développement durable au niveau national, le retrait des terres à long terme, la formation à l'environnement, la reconversion des terres arables en pâturage extensif, l'entretien des terres abandonnées, le soutien aux races locales menacées de disparition au niveau régional, les pratiques respectueuses de l'environnement, le pâturage sous forêt, la réduction des intrants au niveau local. Ces dispositions sont reprises dans un programme quinquennal (1993-1997). Elles demeurent cependant facultatives pour les agriculteurs qui restent libres de souscrire ou non aux différentes mesures proposées.

C'est ainsi que de nombreuses mesures agri-environnementales sont évaluées et appliquées, notamment grâce aux Chambres d'Agricultures. Elles concernent la valorisation agricole des boues résiduaires de stations d'épuration (Ain, Marne), la définition d'un code de bonne conduite dans la gestion de l'azote (Ariège, Calvados, Lot et Garonne etc.), la sauvegarde des espaces sensibles (Indre, Isère), l'élimination des emballages (Marne), l'aménagement paysager (Oise) (APCA, 1991b).

Les politiques de prévention basée sur le volontariat des exploitants agricoles semblent donc être prioritaires dans la Communauté. En France, dans certains domaines, notamment celui des ressources en eau, les situations de dégradation sont suffisamment inquiétantes pour justifier une approche plus répressive et obligatoire de la préservation des ressources naturelles.

## **II.2 PRIORITÉ DE LA LUTTE CONTRE LES NITRATES**

Même si le progrès technique a permis d'obtenir des rendements importants là où naturellement il ne poussait quasiment rien, l'agriculteur reste avant tout tributaire des ressources naturelles telles le sol ou l'eau. Ainsi la lutte contre leur dégradation fait partie intégrante de l'activité agricole en tant que sauvegarde du capital à l'origine de la richesse. De plus, sur un plan plus général, les exigences d'efficacité économique collective commandent de limiter autant que possible toutes les pollutions, y compris celles d'origine agricole. Enfin, et c'est là le plus important, les problèmes de santé publique occasionnés par la consommation d'aliments ou d'eau contaminés font des programmes de lutte contre la dégradation des ressources naturelles un objectif prioritaire.

L'agriculture qui utilise nombre de produits chimiques comme supports de la production animale et végétale contribue fortement à la pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques. Parmi les contaminants, l'azote tient une place particulière dans la mesure où il est l'un des principaux facteurs de production pour les cultures, mais aussi parce que les quantités impliquées, facilement mesurables, contrairement aux pesticides et autres matières actives difficilement décelables, dépassent les seuils de toxicité dans de nombreux endroits, et que les effets sur la santé humaine et animale sont craints.

## II.2.1 L'AZOTE SUPPORT DE L'AGRICULTURE PRODUCTIVE

L'azote est l'un des constituants essentiels de la cellule végétale. Son rôle est important car il favorise :

- la multiplication cellulaire (constitution des bases azotées des acides nucléiques) ;
- la photosynthèse : l'azote participe à l'élaboration des chloroplastes, éléments de la cellule à l'origine de la chlorophylle responsable de la synthèse des glucides (transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique) ;
- la mise en réserve des sous-unités protéiques dans les graines sous forme de protéines plus ou moins solubles (gliadines ou gluténines par exemple) : une teneur optimale en matière azotée permettant d'envisager une récolte de qualité.

Cependant, un excès d'azote peut avoir des effets néfastes sur le bon fonctionnement de la plante. Cet excès peut :

- entraîner un développement difficilement maîtrisable des maladies cryptogamiques (rouilles, mildiou, pourritures, etc.) ;
- provoquer une verse physiologique réduisant d'une façon significative la surface foliaire efficace de la culture et par conséquent la capacité de remplissage du grain (un grain échaudé entraîne une réduction des rendements) ;
- modifier la composition biochimique des végétaux, et ainsi en dégrader la qualité alimentaire (augmentation de la teneur protéique pour les orges de brasserie, diminution du taux de sucre extractible chez la betterave à sucre).

Les processus d'assimilation de l'azote par les plantes sont complexes et font intervenir les différentes formes d'azote et les micro-organismes présents dans le sol<sup>7</sup>. Ce dernier constitue donc un élément actif dans la dynamique de ces échanges et sa qualité est importante dans la production de biomasse.

## II.2.2 L'AZOTE QUI POLLUE

Les pertes d'azote du sol sont des phénomènes naturels. Les ions nitrates assimilables par les plantes, étant des ions libres<sup>8</sup> leur lessivage, c'est-à-dire leur migration vers les horizons profonds du sol non prospectés par les racines, s'opère à la faveur de l'infiltration de l'eau. C'est ainsi que les pluies, mais aussi l'irrigation entraînent les nitrates vers les nappes qu'ils polluent. Ils peuvent aussi rejoindre les fossés et les cours d'eau quand il y a ruissellement ou des installations de drainage.

La contamination des eaux par les nitrates apparaît généralement comme un danger pour la santé des hommes et des animaux, et est à l'origine du phénomène d'eutrophisation.

---

<sup>7</sup> On trouve trois formes d'azote dans le sol : organique, minéral et atmosphérique. Pour la majorité des plantes seul l'azote minéral est assimilable (les légumineuses peuvent aussi assimiler l'azote atmosphérique). Les micro-organismes présents dans le sol transforment au cours de différentes réactions chimiques l'azote organique en azote minéral, c'est la minéralisation (la transformation inverse se réalise aussi, c'est la réorganisation).

<sup>8</sup> Les formes minérales (donc assimilables) de l'azote dans le sol sont l'azote ammoniacal (ion ammonium) et l'azote nitrique (ion nitrate). Le premier est adsorbé par le complexe argilo-humique donc non lessivable, tandis que le second est libre et donc est entraîné par le mouvement de l'eau dans le sol .

### II.2.2.1 La toxicité humaine et animale des nitrates

80 % des nitrates absorbés par l'homme dans l'eau et les aliments sont éliminés par les urines sous forme d'urée (FRANCART, 1991). La toxicité des nitrates dépend en fait de la transformation des 20 % restants en nitrites à l'intérieur de l'intestin<sup>9</sup>. Ceux-ci, digérés, oxydent la molécule de fer ferreux en fer ferrique de l'hémoglobine (appelée dès lors méthémoglobine) qui devient alors inapte au transport physiologique de l'oxygène, menaçant l'organisme de cyanose et d'anoxie pouvant entraîner la mort<sup>10</sup>.

Les nitrites peuvent également réagir avec les amines, les amides et les alkyurées issues de l'alimentation et donc présentes dans l'estomac<sup>11</sup>, pour former des N-nitrosamides, rapidement dégradées en N-nitrosamines bien plus stables et en N-nitrosurées (FRANCART, 1991). Or ces composés sont de puissants cancérigènes<sup>12, 13</sup>.

L'intoxication par les nitrates chez les animaux domestiques est l'une des intoxications les plus fréquentes et les mieux étudiées, notamment chez les ruminants<sup>14</sup>. L'ingestion massive de végétaux riches en nitrates<sup>15</sup> (colza, chou, ray-grass, amarante, chénopode...) peut entraîner des troubles cardio-vasculaires et nerveux par suite de la hausse du taux de méthémoglobine dans le sang. Une absorption continue et prolongée de nitrates peut induire des vertiges et une mauvaise coordination motricielle, mais aussi des retards de croissance, des avortements, des infertilités, des insuffisances hépatiques, des lésions circulatoires, etc. De plus, comme chez l'homme, on peut assister à la formation de nitrosamines à l'origine de cancers.

Il est difficile de déterminer les seuils de toxicité en raison des conditions d'entretien des animaux et de leur sensibilité individuelle. En règle générale, on considère dangereux des teneurs en nitrates de plus de 125 mg/kg pour l'eau et de plus de 0,5 % de la matière sèche pour les aliments.

---

<sup>9</sup> Sur les 20 %, 5% le seront sous l'effet d'enzymes sécrétées par les micro-organismes intestinaux (FRANCART, 1991).

<sup>10</sup> Environ 1% de l'hémoglobine humaine est naturellement sous forme de méthémoglobine (2 à 5% chez le nourrisson). Un double dispositif enzymatique régule constamment ce taux. En cas de contamination, ces systèmes ne peuvent suffire.

<sup>11</sup> Les concentrations en amines sont de 2 mg/kg dans la viande de porc, 60 mg/kg dans le fromage, 1 800 mg/kg dans le poisson.

<sup>12</sup> L'expérimentation animale a largement confirmé le pouvoir cancérigène de ces substances sur l'oesophage, le foie, le rein, le cerveau. Le seuil de toxicité serait de l'ordre, dans le cas de l'oesophage de rat, de 0.05 % à 0.08 % de nitrites dans l'eau de boisson. On considère que 5 % des nitrites ingérés sont transformés en nitrosamines, soit 0,3 à 20 microgrammes par jour chez l'homme (FRANCART, 1991).

<sup>13</sup> Aujourd'hui ces allégations commencent à être remises en cause. Deux médecins ne viennent-ils pas de relancer le débat en affirmant que "les nitrates de l'alimentation et des eaux de consommation sont sans aucun danger pour l'homme", et qu'au contraire il est vraisemblable qu'ils "jouent un rôle bénéfique pour la santé" (L'HIRONDEL, 1996) ?

<sup>14</sup> Les ruminants sont sensibles aux nitrates pour deux raisons particulières : la microflore du rumen favorise la transformation en nitrites et l'hémoglobine des ruminants a plus de facilité à se transformer en méthémoglobine (FRANCART, 1991).

<sup>15</sup> La teneur en nitrates des végétaux est directement liée aux apports d'engrais azotés et à la présence d'eaux contaminées.

### II.2.2.2 Le phénomène d'eutrophisation

L'augmentation dans les cours d'eau des concentrations en nitrates et phosphates, éléments nutritifs pour les végétaux, provoque une prolifération importante d'algues et autres plantes aquatiques qui par putréfaction est à l'origine de la désoxygénation des eaux profondes favorisant dans certains cas l'apparition de goûts, d'odeurs et de colorations indésirables.

L'eutrophisation a souvent de sérieuses conséquences sur l'approvisionnement en eau potable, l'équilibre écologique des milieux aquatiques et la valeur récréative des cours d'eau.

### II.2.2.3 Les normes

Compte tenu des effets supposés des nitrates sur la santé humaine, l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) a déterminé que la dose journalière administrable (D.J.A.) était pour l'homme de 3,65 mg de nitrates par kilogramme de poids vif, soit 18,25 mg pour un nourrisson de 5 kg et 260 mg pour un adulte de corpulence moyenne. Les normes françaises définies par l'arrêté du 10 août 1961, et reprises dans la directive du 15 juillet 1980, fixent le taux maximal de nitrates à 50 mg par litre d'eau, en accord avec les recommandations de l'O.M.S., les normes européennes et américaines. Ainsi dans les zones où la teneur dépasse cette valeur, il convient, si aucune substitution n'est possible, d'éliminer une partie des nitrates par voie physico-chimique ou biologique<sup>16</sup>.

## II.2.3 RESPONSABILITÉS ET RÉPONSES DE L'AGRICULTURE

L'agriculture contribue<sup>17</sup> à la charge en nitrates des eaux dans la mesure où elle apporte des quantités d'azote (engrais ou déjections animales) supérieures aux possibilités d'absorption des plantes et au pouvoir de rétention du sol (Agence de l'eau Artois Picardie, 1990). Les facteurs qui aggravent le lessivage des nitrates sont donc liés aux conditions pédo-climatiques et aux pratiques culturales. Ainsi la proximité des nappes, des précipitations abondantes en automne et hiver, des sols et sous-sols filtrants, la nature du couvert végétal<sup>18</sup>, les périodes d'interculture où le sol reste nu, une fertilisation azotée excessive ou appliquée à contretemps par rapport aux besoins de la plante et au pouvoir de rétention du sol, une fertilisation organique abusive sous forme d'effluents d'élevage ou d'industries agro-alimentaires ou de boues de station d'épuration, le travail du sol en été, une irrigation trop abondante, les retournements de prairies, sont des facteurs de risque importants (CHAPOT, DELPHIN, SCHENCK, 1990).

L'impact de la migration des nitrates sur la qualité des nappes phréatiques est longue à déceler. En effet, ce n'est que progressivement que la teneur en nitrates des nappes s'équilibre avec celle des eaux polluées par l'agriculture (SÉBILLOTE, 1990). Ceci explique que "ce soit avec des dizaines d'années de retard que l'on perçoive l'ampleur du problème (...) et que toute lutte contre la pollution diffuse des eaux par les nitrates ait des effets lents". Ce sont des milliers d'hectares qui sont concernés et les agriculteurs qui les exploitent sont les seuls acteurs qui peuvent agir pour limiter ces pertes. Dans quelle mesure ces acteurs sont-ils prêts à agir ?

---

<sup>16</sup> Le coût de tels traitements (1 à 1,5 F/m<sup>3</sup>) est encore un obstacle à leur généralisation (CHAMBOLLE, 1990).

<sup>17</sup> Contribue seulement : on estime qu'un tiers des fuites de nitrates sont dues à l'industrie et aux agglomérations, un tiers aux déjections animales et un tiers aux sols cultivés (THIOLLET, 1990).

<sup>18</sup> La charge moyenne de l'eau souterraine en nitrates augmente suivant l'ordre forêt, prairie, cultures (CHAPOT, DELPHIN, SCHENCK, 1990).

Aujourd'hui, la lutte contre les nitrates apparaît comme une priorité absolue. Les agriculteurs qui s'engagent à mettre moins d'engrais sont loués et montrés en exemple. Le message commence à passer et les règles de bonne conduite seront probablement, à terme, généralisées. Cependant, même si ce combat contre l'azote est présenté comme important pour la préservation des ressources naturelles et la santé publique, il ne saurait suffire pour dédouaner l'agriculture.

Les herbicides, pesticides, et autres matières actives, utilisées en grande quantité par l'agriculture moderne, représentent un danger autrement plus probable que les nitrates. Le pouvoir cancérigène de ces substances organiques est direct et élevé. Cependant, ces produits ne font toujours pas l'objet de programmes de lutte généralisée. En effet, souvent présents sous forme de traces dans le sol et les eaux, ces produits restent difficiles à repérer et les techniques pour le faire, quand elles sont disponibles, demeurent sophistiquées et coûteuses.

Les efforts pour progresser dans cette voie sont réels. De plus, les conditions de mise sur le marché des matières actives sont de plus en plus sévères. Peu médiatisés, ces problèmes apparaissent occultés. Il est vrai qu'il est plus facile de rassurer l'opinion publique en lui parlant de pollution maîtrisée, quitte à en accentuer le caractère dangereux, que d'évoquer les limites de la science dans la lutte contre une menace réelle et importante. L'ennemi n°1 n'est pas forcément celui qui est désigné. Et il faudra bien, un jour, informer et décider des politiques à mener pour limiter ou éliminer le risque que représente les produits phytosanitaires.

### II.2.3.1 La préservation des ressources en eau : un enjeu politique

Depuis longtemps, la sauvegarde des ressources en eau est un axe essentiel de l'action française. En effet, la loi sur l'eau du 16 décembre 1964 modifiée en 1974 et en janvier 1992 et les décrets d'application autorisent les Agences de Bassins à percevoir des redevances auprès des personnes publiques et privées dans le cas où celles-ci contribuent à la détérioration de la qualité de l'eau, effectuent des prélèvements sur la ressource, modifient le régime des eaux dans toute ou partie de bassin, bénéficient de travaux ou ouvrages exécutés avec le concours de l'Agence.

L'article 14 de la loi n° 64-1245 et les textes d'application autorisent l'Agence à percevoir une redevance annuelle en fonction des quantités de pollution produites et prévoient que l'Agence verse à chaque maître d'ouvrage d'un dispositif d'épuration une prime en fonction des quantités de pollution éliminées.

S'alignant sur les dispositifs déjà mis en place pour lutter contre la pollution des eaux d'origine industrielle, l'Etat et les organisations professionnelles agricoles ont signé un accord pour l'intégration des élevages dans les programmes des Agences de Bassin (arrêté du 2 novembre 1993) fixant les modalités d'aide multipartite à la mise en conformité des bâtiments d'élevage. L'objectif est d'assurer la maîtrise des pollutions issues de telles exploitations agricoles afin de protéger les eaux naturelles et les milieux aquatiques, compte tenu de la responsabilité prépondérante des déjections animales dans la pollution nitratée des nappes phréatiques et des cours d'eau. Conformément au principe général de fonctionnement des Agences, la mise aux normes s'accompagne de l'établissement d'une redevance pollution qui participera au financement des travaux (sous forme de subvention versée à l'agriculteur). La mise en oeuvre

de ces décisions, quelque peu révolutionnaires<sup>19</sup>, se fera de façon progressive afin de permettre aux éleveurs de s'adapter.

La redevance est déterminée en fonction de l'importance de l'élevage, la durée de présence des animaux dans les bâtiments, la qualité de l'évacuation et du stockage des déjections, la qualité de l'épandage<sup>20</sup>. La mise en conformité des élevages concerne les règles d'exploitation (niveau sonore, déchets et emballages, installations électriques, entretien, lavage et désinfection ; exigible dès 1995), les règles d'épandage (distances et délais d'enfouissement, fertilisation raisonnée, plan d'épandage ; exigible en 1998 pour les bovins et 2000 pour les porcins) et les règles d'aménagement (étanchéité des constructions, collecte des eaux pluviales et souillées, stockage minimum de 4 mois ; exigible en 2000 pour les bovins et 1998 pour les porcins).

### II.2.3.2 Que penser de ces mesures ? Faut-il aller plus loin ?

L'urgence de la situation rencontrée dans certaines régions françaises d'élevage intensif (Bretagne) où la présence des nitrates dans l'eau prend des proportions tout à fait inquiétantes, a conduit les pouvoirs publics à prendre des mesures coercitives et obligatoires à l'adresse des éleveurs. Aujourd'hui, la production végétale n'est pas soumise à la redevance pollution, bien qu'elle participe également (de moindre manière) à la dégradation des nappes. Seules des subventions ont été mises en place pour "encourager" les démarches individuelles et volontaires vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement. Ces mesures suffiront-elles ? Les redevances doivent-elles se généraliser ? Faut-il aller plus loin dans la réglementation ?

On distingue plusieurs outils de réglementation :

- Les taxes s'appliquent à de très nombreuses situations. On peut taxer les pollueurs en fonction des quantités d'effluents rejetés (émissions de gaz carbonique, d'acide nitrique...) ou de facteurs de production présentant un risque pour l'environnement (engrais) ou de quantités prélevées sur la ressource naturelle (c'est alors le coût d'utilisation de la ressource non infinie, par exemple, l'eau). Le montant de la taxe est évalué afin de permettre de financer (en partie bien souvent car même si l'agent pollueur est déclaré seul responsable de la dégradation du milieu, le coût global du projet est trop lourd à supporter par ces seuls agents) les procédés de dépollution. Cependant, cette taxe doit être suffisamment incitative pour favoriser la réduction globale de la pollution émise (on peut rejoindre ainsi le principe de la réglementation directe par la fixation d'objectifs d'environnement).

Des taxes peuvent être également imposées au consommateur de biens qui présentent un danger pour l'environnement (les emballages, la voiture...). Pollueur ultime, le consommateur contribue en partie, aux côtés des producteurs également taxés, au financement de la sauvegarde des actifs naturels.

---

<sup>19</sup> Ce que confirment les longues et difficiles tractations entre les pouvoirs publics et le monde agricole pour définir les règles d'application de la "nouvelle" loi sur l'eau. Le décret aura été donc signé en novembre 1993 avec plus d'un an de retard par rapport aux objectifs initiaux. Enfin le calendrier d'intégration des mesures (1994-2002) a été décalé d'un an.

<sup>20</sup> On calcule une assiette brute de pollution qui correspond aux quantités de matières polluantes issues du cheptel (0,2 kg d'azote réduit et 1,8 kg de matières oxydables par UGB). Cette assiette est affectée de coefficients réducteurs selon les conditions d'élevage (perméabilité des sols des bâtiments), la qualité de collecte et de stockage des effluents, des jus de silos, des eaux de laiterie et de pluie, la gestion des épandages et le chargement à l'hectare. On obtient alors l'assiette nette de redevance.

Dans le domaine agricole, notamment dans le cadre de la lutte contre les nitrates, la taxation des engrais pourrait intervenir comme un moyen incitatif de réduction des quantités utilisées. En effet, l'agriculteur qui souhaite maximiser son revenu, prendrait en compte la majoration du prix des fertilisants pour en faire une utilisation plus optimale.

Mais les migrations d'azote vers les nappes dépendent des quantités apportées mais également des conditions pédo-climatiques. Ainsi, des comportements équivalents peuvent avoir des conséquences très différentes selon la profondeur et la qualité du sol, le réseau hydrographique, l'importance des précipitations, etc. Dans ces conditions, la gestion optimale des fréquences et des volumes des apports, contribuera très concrètement à diminuer les risques de pollution. Cependant, il semble peu envisageable d'établir une taxe qui puisse prendre en compte des conditions naturelles particulières et les comportements individuels. Aussi, retenir les quantités d'engrais apportées comme assiette de calcul de la taxe de pollution devrait toujours apparaître quelque peu injuste. De plus, s'il semble aisé de taxer les engrais minéraux achetés, comment contrôler les quantités d'effluents organiques épandues ?

Pour toutes ces raisons, la taxe à l'engrais, mesure techniquement simple à mettre en place, est plutôt perçue comme une contribution financière des pollueurs au coût de dépollution et de distribution d'une eau potable. L'agriculteur, comme les industriels ou les ménages, participe par son activité, à la dégradation des ressources en eau, et à ce titre doit payer la réparation des dommages causés selon le principe du pollueur-payeur. L'impossibilité de déterminer avec précision la responsabilité de chacun dans la pollution, contraint le législateur de fixer arbitrairement un montant d'imposition qui soit, d'une part, compatible avec la rentabilité économique de l'activité et d'autre part, efficace en termes de diminution de la pollution. Les enjeux de ces décisions peuvent être considérables car elles concernent la compétitivité des firmes<sup>21</sup> et la sauvegarde des réserves d'eau potable.

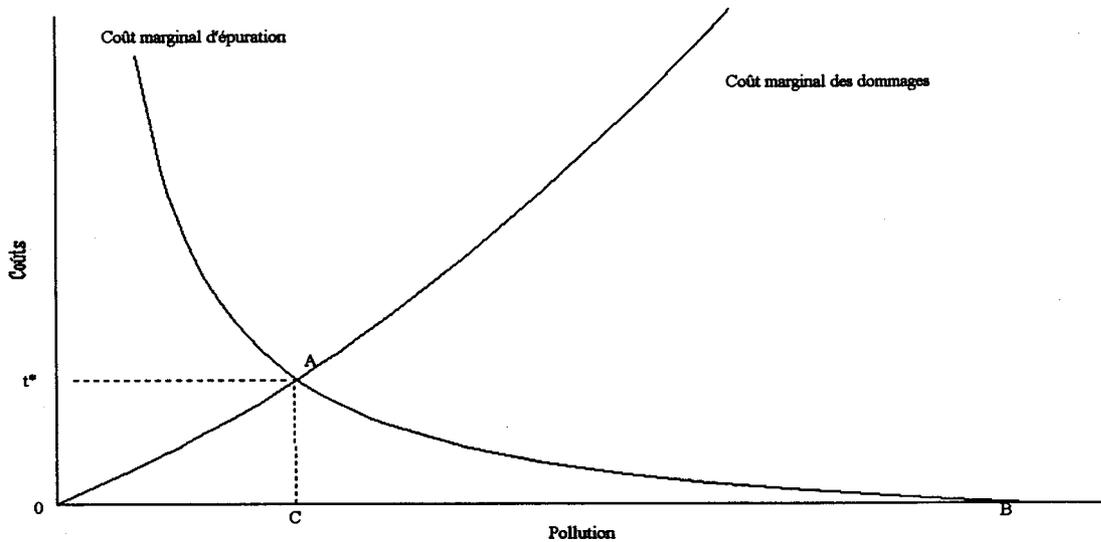
- La redevance est théoriquement la somme d'argent payée par le pollueur pour compenser exactement les dommages qu'il provoque. Dans la pratique, la courbe des dommages étant extrêmement délicate à connaître, un objectif d'environnement est déterminé, et la redevance est le moyen d'atteindre cet objectif avec le maximum d'efficacité. Pour cela, on prend en compte le coût d'épuration du pollueur, la redevance par unité de pollution rejetée étant égale au coût marginal d'épuration correspondant au taux d'épuration déterminé (schéma 1).

Cette solution bénéficie d'un large consensus chez les économistes parce qu'elle est spécifique à chaque producteur, ce qui lui donne beaucoup de souplesse et d'efficacité. En effet, puisque le taux de redevance dépend des coûts d'épuration de chaque firme, chacun des acteurs choisira la solution économique la plus optimale à son niveau (payer la redevance, réduire sa pollution...). De plus, la redevance incite à diminuer les rejets au niveau où le taux unitaire de la redevance est égal au coût marginal de l'épuration. Ainsi, les agents ayant des coûts peu élevés seront incités à épurer plus que les agents ayant des coûts élevés (schéma 2), cette incitation est d'autant plus forte que le taux de redevance est important. Enfin, l'argent perçu sert à financer des programmes collectifs de préservation du milieu naturel.

---

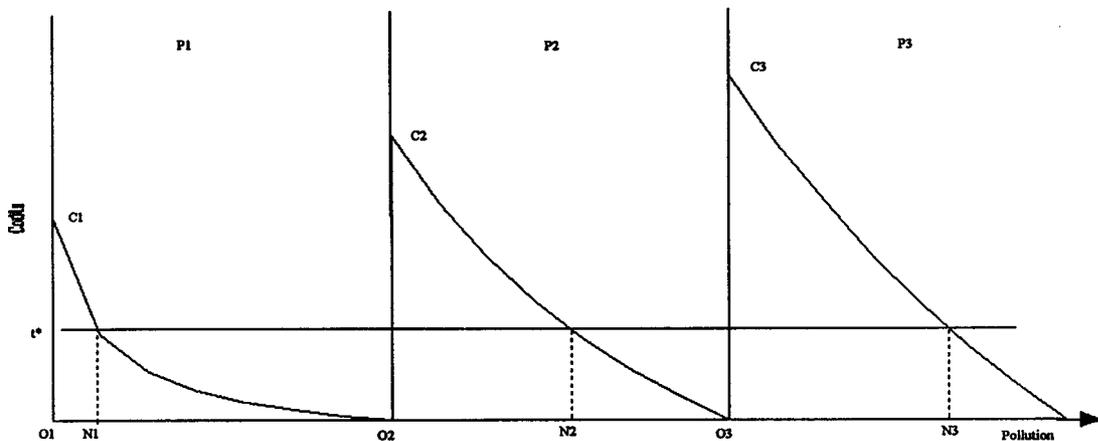
<sup>21</sup> De telles mesures pourraient, à la limite, décider de la survie des firmes si la pression financière s'avérait trop lourde. Elles peuvent aussi diminuer la compétitivité internationale face à des pays qui ne seraient pas soumis à cette charge supplémentaire.

### Schéma 1 Détermination du taux optimal de redevance



*Graphiquement, le niveau optimal de redevance  $t^*$  correspond à un niveau de pollution  $C$ . Le pollueur va donc supporter des coûts d'épuration ( $CAB$ ), mais aussi des coûts des dommages liés à la pollution résiduelle  $OC$  ( $OAC$ ). Soit au total, la surface  $OAB$ , ce qui correspond à l'internalisation totale du coût des dommages liés à la pollution. En fait, le pollueur paye également la surface  $Ot^*A$ , sorte "d'impôt sur l'utilisation des ressources d'environnement" (OCDE, 1976).*

### Schéma 2 Effets différenciés d'un même taux de redevance



*On considère ici trois pollueurs ( $P1$ ,  $P2$ ,  $P3$ ) ayant des coûts d'épuration différents ( $C1 < C2 < C3$ ) et un taux de redevance  $t^*$ . Chaque pollueur cherchera à l'égalisation entre son coût d'épuration et la redevance et réduira sa pollution respectivement jusqu'au niveau  $O1N1 < O2N2 < O3N3$ . L'enjeu de l'exercice est donc de fixer un taux de redevance suffisamment incitatif pour que la somme des pollutions de tous les pollueurs soit inférieure à l'objectif fixé (OCDE, 1976).*

Dans le domaine agricole, taxer le pollueur en fonction des quantités d'azote qu'il utilise (taxe à l'engrais), fait abstraction des comportements individuels pouvant largement jouer sur le volume des nitrates entraînés vers les nappes phréatiques. La redevance de pollution élimine ce problème dans la mesure où ce sont bien les quantités effectives de matières polluantes (et non plus potentiellement polluantes) qui servent de base au calcul de l'assiette de l'imposition.

Dans ces conditions, le pollueur aura le sentiment de payer les seuls dommages sous sa responsabilité, ce qui devrait favoriser sa volonté de lutter contre les gaspillages. Néanmoins, l'agriculteur demeure impuissant face aux conditions naturelles qui accentuent ou minimisent les conséquences polluantes de son comportement.

Outre ce problème, un des principaux obstacles à la mise en place de la redevance réside dans la mesure des quantités de pollution réellement émises. Actuellement, seules les quantités produites à l'échelle des élevages font l'objet d'un contrôle et d'une taxation. Ce système devrait contribuer à améliorer la qualité des eaux de certaines régions. L'élargissement, sans doute nécessaire, de la mesure à l'activité végétale pose problème, car, si connaître le volume de nitrates à la sortie d'une station d'épuration est simple<sup>22</sup>, évaluer de façon continue les pertes d'azote à l'échelle des parcelles agricoles demeure peu réaliste.

- La réglementation directe est basée sur le respect par le "pollueur" de normes d'environnement (quantités de rejets polluants, composition des produits...) fixées par l'autorité légale (au niveau international, national ou local). La préservation du milieu naturel est assurée par un tel procédé, à la condition toutefois que des sanctions suffisamment persuasives soient mises en place en cas de non respect des normes (ceci engendre bien sûr des coûts administratifs de mesure et de contrôle non négligeables à répartir au niveau des pollueurs). Cependant, un tel outil présente l'inconvénient de ne pas dépendre des mécanismes économiques, et souvent le respect des normes est étranger à toute notion d'efficacité économique. Dès lors, il est à promouvoir uniquement dans le cas de pollutions irréversibles ou intolérables (dans ces cas là, la préservation du milieu ou de la santé humaine est primordiale).

Toutefois, son extension à d'autres types de pollutions reste possible dans la mesure où la norme d'environnement est considérée comme une contrainte supplémentaire (au même titre que les contraintes de main-d'oeuvre, d'équipement et financières...) à prendre en compte dans la recherche de l'optimum économique poursuivie par le producteur. Ceci suppose une connaissance parfaite des coûts de production (et donc de pollution) des agents économiques afin de déterminer des normes compatibles avec les impératifs économiques et efficaces sur le plan de la préservation du milieu.

Il faut cependant reconnaître que la réglementation directe reste un outil peu incitatif dans la mesure où les pollueurs se limiteront à respecter la norme, rien de plus. Dans la pratique, cet outil est très largement utilisé. Les pouvoirs publics apprécient la simplicité de son principe et sa mise en oeuvre administrative, les industriels ont appris à négocier sur les normes et ont intégré dans leur choix stratégique, le coût de la dépollution (ou non pollution) face au coût de la redevance.

---

<sup>22</sup> La D.R.I.R.E. (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) mesure, par exemple, les teneurs en nitrates et autres indicateurs de pollution rejetés dans le milieu naturel par les entreprises pour calculer les taxes redevables par celles-ci.

En agriculture, la taxe à l'engrais et la redevance de pollution n'assurent une préservation "efficace" du milieu naturel que si le niveau d'imposition est suffisamment incitatif. La norme de pollution, parce qu'elle impose les quantités maximales de matières polluantes rejetées, assure directement cet objectif. Cependant, fixée de manière exogène par le législateur, cette norme, qui s'exprime en quantité de pollution sans référence à un coût, peut être incompatible avec les exigences d'efficacité économique. Il convient donc, pour en promouvoir l'usage, de connaître parfaitement les fonctions de production et de dommages. Cette dernière est difficile à appréhender à l'échelle d'une exploitation agricole, notamment pour la pollution engendrée par la production végétale.

Il est économiquement plus efficace d'exprimer l'objectif d'environnement sous la forme d'un taux plutôt que d'une valeur absolue. En effet, chaque agent présentant des fonctions de production et de pollution différentes de par son activité, son environnement socio-économique, etc., il n'est pas pensable d'imposer le même seuil à tous. C'est là un des avantages de la méthode par rapport aux taxes à l'engrais et à la pollution qui peuvent être ressenties comme inéquitables. Il s'agira, par exemple, de fixer un taux de réduction de pollution afin que la somme des pollutions de tous les pollueurs soit inférieure à l'objectif souhaité.

Mais dans la réalité, il est impossible de connaître précisément les quantités de pollution perdues par les exploitations agricoles d'une région. Dans ces conditions, comment déterminer l'objectif à atteindre ?

En conclusion, la préservation de la qualité de l'eau fait partie des priorités des politiques d'environnement européennes. L'agriculture par les produits phytosanitaires qu'elle utilise, les engrais qu'elle épand, contamine l'eau par infiltration et ruissellement. Ces pollutions sont d'autant plus aiguës qu'historiquement la Politique Agricole Commune a favorisé le recours à des techniques de production intensives.

Aujourd'hui, l'enjeu est, plus que jamais, de développer une agriculture économiquement performante et moins (et pourquoi pas, non) polluante. La majorité des acteurs institutionnels et professionnels est persuadée qu'il est souhaitable de promouvoir une politique agricole à la fois profitable pour le pouvoir d'achat des agriculteurs et pour le milieu naturel. Mais si tous, ou presque, tombent d'accord sur la finalité, les moyens d'y parvenir suscitent de vifs débats au sein de l'Union Européenne autour de l'intérêt ou non d'abandonner le soutien des revenus agricoles et la régulation des marchés, au profit de politiques centrées sur l'environnement et l'espace rural<sup>23</sup>. La sécurité alimentaire peut-elle être encore menacée ? La défense du revenu des agriculteurs n'est-il pas aujourd'hui un objectif indéfendable aux yeux de l'opinion publique ? Les coûts de la politique agricole ne sont-ils devenus acceptables ? Ne faut-il pas poursuivre les orientations libérales prises par les accords du G.A.T.T. et la réforme de la P.A.C. de 1992 ? Ne doit-on pas focaliser tous les efforts sur la défense du patrimoine naturel et rural ?

De telles questions soulignent l'importance des outils d'évaluation des politiques. Les décisions sont souvent lourdes de conséquences et il convient d'avoir le maximum de garanties quant à leur capacité à répondre aux objectifs avancés. L'exercice est d'autant plus délicat que les bénéfices attendus sont difficiles à qualifier. Dans le domaine de l'environnement, par exemple,

---

<sup>23</sup> On verra à ce propos les prises de position des partisans de l'abandon des politiques agricoles (ANDERSON, FROHBERG et al., 1994) (JOSLING, 1994) et leur contradiction (BOUSSARD, 1996).

il n'est pas simple de définir ce qu'est une nature préservée, les acceptations passant du rejet de toute activité humaine à l'intégration plus ou moins forte de celle-ci. L'habitat et l'élevage traditionnels ne sont pas naturels mais peuvent participer à la préservation du milieu.

Les déclarations politiques actuelles placent souvent la sauvegarde de l'environnement comme un objectif prioritaire, mais sans en préciser les limites. La défense du patrimoine naturel n'est pas ultime en soi, elle est confrontée à d'autres priorités socio-économiques quelquefois contradictoires et supérieures. On se rappelle du combat de Greenpeace contre les essais nucléaires français dans le Pacifique.

Les divergences, quelque peu idéologiques, quant aux méthodes à adopter pour promouvoir une politique agricole favorable à l'environnement, ne cachent-elles pas, en fait, cette incapacité du législateur de définir avec précision les objectifs économiques et écologiques à atteindre, ou du moins à imaginer des scénarios et les évaluer ?

Les principaux outils à la disposition du décideur procèdent d'une approche néoclassique de la valeur économique des actifs naturels au moyen de méthodes plus ou moins directes et d'une fiabilité discutée.

### **SECTION III : LA VALEUR ECONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT : L'HERITAGE NEOCLASSIQUE**

Le milieu naturel, longtemps considéré comme une ressource inépuisable et comme un bien sans valeur propre, est en train d'acquiescer aux yeux d'une opinion publique alarmée et consciente de payer de plus en plus cher le litre d'eau, le statut de bien rare et monnayable. N'a-t-on pas vu il y a quelques temps une campagne publicitaire centrée sur l'eau et la nécessité de sa sauvegarde<sup>24</sup>.

Les économistes n'ont pas attendu ces campagnes pour intégrer l'environnement dans leurs analyses, mais il est certain que, dès lors que les ressources naturelles ont été considérées comme "épuisables", il s'est posé de façon plus précise le problème de leur gestion efficace.

#### **III.1 L'ENVIRONNEMENT : UNE RESSOURCE PARTICULIERE**

Par définition, l'environnement est un bien collectif c'est-à-dire non appropriable, non exclusif, source de bien-être souvent illimité et gratuit (paysage, ozone...) et dont les règles d'échange sont de ce fait "non marchandes".

Le caractère non infini de nombreux biens d'environnement associé à l'absence ou à la non-exclusivité des droits de propriété expliquent un grand nombre des problèmes de dégradation des ressources naturelles. En effet, si la ressource n'appartient à personne, personne n'intègre cette ressource dans sa recherche de profit maximal et n'intervient pour en optimiser l'utilisation. Ainsi comme personne ne supporte le coût de la dégradation du milieu naturel,

<sup>24</sup> Campagne TV de février 1996 "sachons garder l'eau propre" ....

personne n'a intérêt à en limiter les règles d'utilisation. Dans le cas de la propriété collective d'une ressource rare, on suppose le droit pour tous d'en user, mais aussi le devoir pour tous de respecter les règles qui président à sa gestion. Dès lors que disparaît la garantie que chacun a du respect de cette double injonction par la collectivité toute entière, l'incitation n'existe plus et le régime de propriété commune cède la place à une situation de libre accès (OCDE, 1994b).

Dans ces conditions, l'enjeu pour les économistes néoclassiques est d'associer à la ressource naturelle une valeur marchande afin qu'elle participe au processus marchand d'allocation maximale comme toute autre ressource. C'est ainsi que la notion d'externalité a été définie.

### **III.2 EFFETS EXTERNES : L'ENVIRONNEMENT RÉINTÉGRÉ DANS LE MARCHÉ**

Ce sont les travaux de PIGOU qui ont approfondi la notion d'effets externes et le problème de leur internalisation. Partant du principe que les gaspillages et dégradation de la ressource naturelle proviennent des insuffisances du marché c'est-à-dire de la non-optimisation de l'allocation de ces mêmes ressources, il convient de trouver un moyen de tenir compte de l'effet d'environnement au niveau de la fonction-objectif. Cet effet qui n'est pas pris en compte par le mécanisme des prix, est appelé externe. Par exemple, quand deux firmes sont situées sur une même rivière et que celle en amont déverse une pollution qui empêche toute utilisation de l'eau par celle située en aval, la seconde entreprise pâtit de la pollution générée par la première sans pour autant que celle-ci ne lui verse de compensation financière (VIVIEN, 1994). On est bien ici en présence d'un échange, en l'occurrence de pollution, qui n'obéit pas aux lois du marché et n'induit pas la fixation d'un prix et d'un revenu, mais qui a des conséquences économiques sur les acteurs<sup>25</sup>. Ces externalités sont donc définies comme l'écart entre le coût privé (coût payé par le producteur pour maximiser son profit) et le coût social (coût payé par la collectivité pour maximiser sa satisfaction). L'internalisation de ces effets externes, c'est-à-dire leur prise en compte dans les mécanismes du marché, apparaît donc comme le seul moyen pour rétablir l'équilibre entre coût social et coût privé et assurer l'allocation optimale des ressources d'environnement.

### **III.3 LA VALEUR ÉCONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT**

La valeur de l'environnement se définit fondamentalement, selon le principe de l'économie du bien-être (PIGOU), comme la valeur (ou utilité) attachée par les individus à l'existence de ces biens naturels<sup>26</sup>. La notion de bien-être individuel demeure très imprécise et multidimensionnelle si bien qu'il est impossible d'en avoir une mesure directe. Aussi, les auteurs

---

<sup>25</sup> On parlera ici d'externalités technologiques, à distinguer des externalités pécuniaires liées à la présence de rendements d'échelle locaux croissants, de synergies technologiques qui fondent les économies de gamme et dites alors externalités pécuniaires (VINER, 1931).

<sup>26</sup> En fait de valeur économique des biens naturels, les économistes distinguent plusieurs notions (OCDE, 1994). La valeur d'usage direct est liée aux biens et services engendrés par les actifs naturels. La valeur d'usage direct d'une forêt est estimée par la quantité de bois de chauffage qu'elle produit, ou le nombre de promeneurs qui viennent s'y délasser. La valeur d'usage indirect est liée aux "avantages découlant des dommages partiellement évités du fait de l'existence" des biens naturels. La valeur d'usage indirect d'une forêt est liée à sa fonction d'absorption du gaz carbonique. La valeur d'existence se définit "indépendamment de toute utilisation particulière" (VIVIEN, 1994) : la valeur intrinsèque d'une forêt. Enfin, la valeur d'option correspond à la valeur potentielle et ultérieure d'un bien environnemental. Telle essence forestière pourrait un jour devenir la base d'un nouveau médicament.

ont fait appel à la théorie du surplus et suggéré que la valeur économique du bien-être individuel soit mesurée par le montant maximal qu'un individu est prêt à payer (on parle de consentement à payer) pour bénéficier d'une amélioration de son bien-être (variation du surplus compensatrice) ou pour éviter la détérioration de celui-ci (variation du surplus équivalente). La valeur économique du bien-être peut être aussi évaluée comme le montant minimal qu'un individu est prêt à accepter (on parle de consentement à recevoir) pour renoncer à l'amélioration de son bien-être (variation du surplus équivalente) ou pour accepter sa détérioration (variation du surplus compensatrice)<sup>27</sup>.

### **III.4 LES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE LA VALEUR ÉCONOMIQUE DES ACTIFS NATURELS**

#### **III.4.1 LES MARCHÉS DE SUBSTITUTION**

La connaissance de la fonction de demande en actifs naturels n'est pas directe et l'observation des comportements individuels en termes de dépenses en un bien marchand (bien de substitution) lié à un bien d'environnement permet d'approcher la valeur accordée à ce dernier. Par exemple, les dépenses en transport des individus pour pratiquer une activité en milieu naturel peuvent indiquer leurs exigences d'environnement (HOTELLING, 1931), les différences de prix pour un même bien mais situé dans des environnements différents (et l'acceptation de ces différences de prix par le consommateur) indiquent la valeur accordée -on parle de prix hédoniques- à la qualité des biens naturels (voir par exemple les travaux de R. RIDKER et J. HENNING, 1967<sup>28</sup> et ceux de S. ROSEN en 1974), enfin, l'effort financier consenti pour se protéger contre la dégradation ou la mauvaise qualité de l'environnement permet aussi d'approcher la fonction de demande d'environnement.

Cette méthode suppose de connaître la relation de complémentarité des deux biens. Par exemple, une faible complémentarité suppose qu'une demande nulle en bien de substitution mesure une valeur nulle pour le bien d'environnement. C'est la valeur du bien marchand qui détermine la valeur de l'actif naturel. Une telle hypothèse exige une estimation des fonctions de variation des prix ou de la demande du bien marchand, ce qui nécessite un volume considérable de données (OCDE, 1994b).

De plus, on s'appuie ici sur les préférences des gens révélées par leur comportement effectif et il est donc impossible de recourir aux marchés de substitution pour estimer la valeur d'un nouveau bien ou service ou la modification sans précédent de la qualité de l'environnement.

Enfin, cette méthode ne mesure que la valeur d'usage et ignore les autres composantes de la valeur économique totale.

---

<sup>27</sup> Cependant, la courbe de demande telle qu'elle est décrite suppose un niveau d'utilité constante, alors que, dans la réalité, toute modification de prix entraîne une modification du revenu (toute baisse de prix implique une hausse du revenu réel) et donc de l'utilité. Dans ces conditions, la mesure de l'effet de toute variation de la qualité de l'environnement sur le niveau de bien-être des individus devra se faire en éliminant l'effet revenu afin de raisonner à pouvoir d'achat équivalent.

<sup>28</sup> Ils ont démontré que la variation de prix des habitations selon leur localisation pouvait permettre d'estimer la valeur que les individus attribuent à un changement de la qualité de l'air et de mesurer les bénéfices des politiques de dépollution de l'air.

### III.4.2 LES ÉVALUATIONS CONTINGENTES

Quand l'observation du comportement individuel n'est pas possible, on peut recourir à une méthode dite des "évaluations contingentes". Elle consiste à créer un marché fictif des actifs naturels au moyen de l'interrogation directe<sup>29</sup> des individus sur leur consentement à payer ou à recevoir pour bénéficier d'une amélioration ou compenser une dégradation de l'environnement. Les réponses recueillies permettent ainsi de reconstituer les surplus.

Cependant, le fait de disposer de deux mesures économiques différentes de la variation du bien-être (variation équivalente ou variation compensatrice) pose des problèmes de choix dès que l'on passe à des expérimentations de terrain. Pendant longtemps, la plupart des économistes ont considéré que, dans la majorité des cas, les différences entre les deux méthodes étaient infimes et sans conséquence du point de vue pratique. Cependant, divers auteurs<sup>30</sup> ont montré que pour un même changement de politique, la mesure obtenue à l'aide du "consentement à payer" (CAP) est en règle générale nettement inférieure à celle fournie par le "consentement à recevoir" (CAR) (OCDE, 1994b). Ceci s'expliquerait par le fait que les individus accordent une importance bien plus grande aux pertes qu'aux gains par rapport à la situation de référence : perdre 100 F par rapport à la situation de référence sera plus fortement ressenti que gagner cette même somme<sup>31</sup>. De plus, cette perte sera d'autant plus valorisée que les substituts au bien perdu sont rares et imparfaits et que les individus y attachent une grande importance<sup>32</sup> : la disparition irremplaçable du coelacanth sera perçue moins gravement que la contamination de l'air. Enfin, la perception des pertes ou des gains est fortement influencée par la répartition des droits de propriété sur les biens. Dans ces conditions, alors que rien dans la théorie économique ne justifie le choix du CAP ou du CAR, une bonne analyse économique demandera d'abord de savoir laquelle des deux approches est préférable.

De plus, la mesure économique des variations du bien-être se fonde sur l'hypothèse que chaque individu connaît ses préférences et que la satisfaction de celles-ci va dans le sens de ses intérêts. Or parfois les préférences exprimées ne s'établissent pas sur une connaissance totale des problèmes. C'est l'exemple du tri sélectif des ordures ménagères bien accepté a posteriori par les usagers alors que ceux-ci le considéraient a priori trop contraignant. En l'occurrence, l'analyse économique des a priori des ménages aurait surestimée le coût social du recyclage. Les préférences individuelles peuvent donc évoluer, mais elles peuvent également être jugées comme "illégitimes" ou "ne méritant pas d'être prises en considération" par les décideurs. Telle mesure d'accès à l'instruction peut être perçue très positivement par les femmes alors que les hommes la rejette car elle remet en question leur suprématie. Faut-il abandonner le projet ? Faut-il ne tenir compte que de l'avis des femmes ? La théorie économique ne peut répondre seule à ces questions.

Enfin, la mesure compensatrice et équivalente du bien-être ne permet pas toujours d'opposer le bien-être d'un individu à celui d'un autre uniquement parce que leurs revenus sont différents.

---

<sup>29</sup> Au moyen de vastes enquêtes auprès de toutes les catégories de personnes pouvant être concernées par la dégradation ou l'amélioration de l'environnement.

<sup>30</sup> HAMMACK et BROWN (1981), GORDON et KNETSCH (1979), MEYER (1979), ROWE, D'ARGE et BROOKSHIRE (1980), SCHULZE, D'ARGE et BROOKSHIRE (1981), KNETSCH et SINDEN (1989) cités par le rapport OCDE : "évaluation des projets et politiques" (OCDE, 1994b, p 51).

<sup>31</sup> Dans ces conditions, les politiques visant à réduire les pertes directement plutôt que celles qui accepteraient ces pertes et les compenseraient financièrement semblent préférables. On présentera un programme de lutte contre la pollution de l'eau comme un moyen de réduire un dommage déjà subi plutôt que comme un moyen d'améliorer la qualité de l'eau par rapport à son état actuel.

<sup>32</sup> Ce qui est le cas d'un grand nombre de biens d'environnement.

En effet, puisque le consentement à payer des individus est fonction de leurs ressources, une analyse coûts-avantages d'une mesure peut être affectée et biaisée par la répartition sociale du revenu.

### III.4.3 LES FONCTIONS DE DOMMAGES DOSES-EFFETS

Dans le cas où les individus ne sont pas eux-mêmes conscients des conséquences de la variation de la qualité de l'environnement naturel ou dans le cas où les données nécessaires à l'utilisation des méthodes directes ne sont pas disponibles ou inexploitable, on tente de reconstituer la fonction de dommage en établissant une relation dose-effet entre les atteintes à l'environnement et la cause puis d'en faire, si possible, une estimation financière. Les limites de cette approche tiennent aux erreurs possibles dans la définition de la relation dose-effet dues, par exemple, à l'existence de seuils de nocivité ou à la discontinuité de la fonction. De plus, il faut tenir compte que les variations de l'état de l'environnement peuvent entraîner une modification du comportement des individus.

PIGOU (1920) considère les effets externes comme l'écart (néгатif ou positif) entre coût privé et coût social, le retour à un fonctionnement optimal du marché n'étant possible que par l'instauration d'une taxe sur le principe du "pollueur-payeur". C'est l'Etat, garant du bien-être général qui imposera au pollueur cette taxe dont le montant doit être égal au dommage social marginal induit. De cette manière, le coût de la dégradation de l'environnement se trouvera intégré dans les mécanismes de marché intervenant entre la firme polluante et les consommateurs. Le point d'équilibre économique assurera une allocation maximale de toutes les ressources, même celles d'environnement.

Le montant de cette taxe et donc du niveau de pollution optimal est ainsi directement déterminé par l'intersection des droites de coût marginal de lutte contre la pollution et de coût marginal de dommage à l'environnement (schéma 1). "La toute puissante rationalité des agents parfaitement informés et l'optimalité de leurs calculs économiques permettent théoriquement de fixer et l'objectif à atteindre en matière de pollution et la façon d'atteindre au moindre coût cet objectif" (VIVIEN, 1994).

Toutefois, cette analyse reste très théorique et difficilement applicable car elle suppose avant tout sur une parfaite connaissance de la fonction des dommages. Or les méthodes décrites restent trop aléatoires pour une donner une valeur fiable des bénéfices liés à l'environnement. Comment, dans ces conditions, assurer la gestion économiquement optimale des ressources naturelles et la réalisation d'objectifs satisfaisants pour le milieu ?

Une solution serait de confier aux experts de la nature la définition de la fonction de dommages et les objectifs souhaitables à atteindre, les économistes ayant charge de permettre la réalisation de ces objectifs au moindre coût économique, c'est à dire d'assurer la répartition optimale entre les acteurs des coûts associés au gaspillage et à la dégradation des biens naturels.

Dans le domaine de l'agriculture, les modèles bio-économiques, qui couplent un modèle de croissance des plantes à une maquette d'optimisation économique, calquent ce type d'approche. En effet, le simulateur agronomique, élaboré par des experts de la nature, tente de relier toute production végétale à son influence sur le milieu, notamment en termes de pollution. Par exemple, on saura que produire un quintal de blé sur tel sol, avec tel climat et telle technique engendre telle érosion, ou telle pollution nitratée. Le modèle agronomique construit ainsi une véritable courbe des dommages. Associer cette fonction, à un modèle d'optimisation économique permet d'élaborer des scénarios de politiques agricoles et d'en évaluer la portée en termes d'utilité économique et de désutilité écologique.

Pendant longtemps, les objectifs agricoles et environnementaux ont dépendu de politiques différentes. Aujourd'hui, il devient évident que, prendre en compte simultanément les répercussions des mesures agricoles sur l'environnement et vice-versa, devrait faciliter les arbitrages et le choix des meilleures décisions économiques et sociales. L'élaboration de politiques intégrées repose sur la recherche d'objectifs complémentaires et de compromis entre des ambitions contradictoires, mais aussi sur des mesures de prévention et d'anticipation plutôt que de correction<sup>33</sup>. La réforme de la P.A.C. et les mesures agri-environnementales qui l'accompagnent, s'inscrivent dans cette réflexion. Les instruments utilisés - baisse des prix garantis, découplage des primes de la production, gel des terres, promotion des techniques extensives, redevances pollution, etc. - ont bien pour objectif la maîtrise de la production et la préservation du milieu naturel.

Définir de telles politiques est un exercice délicat puisque les mesures d'application doivent avoir à la fois un objectif d'efficacité économique et d'environnement, que les impacts attendus sont de l'ordre du long terme et que les expériences passées sont trop peu nombreuses pour servir de référentiel et surtout qu'elles ne reflètent pas les possibilités d'adaptation à un cadre politique inconnu alors.

Dans ces conditions, réduire le problème de la dégradation du milieu naturel à celui de la valeur des effets externes ne peut être satisfaisant car "il y a fort à parier que l'économiste intervienne trop tard, la pollution commençant à affecter la fonction objectif des agents alors même que certains seuils écologiques irréversibles sont déjà franchis ; le niveau maximal qu'il s'est appliqué à définir excédant au final les réelles capacités d'assimilation du milieu naturel" (PEARCE, 1976). Il serait donc avantageux de définir a priori les objectifs d'environnement à atteindre puis de les intégrer dans des modèles d'optimisation économiques comme des contraintes externes et d'observer les comportements des agents et les conséquences sur leur utilité (BAUMOL et OATES, 1971).

---

<sup>33</sup> Une telle politique exige la mise en place de structures administratives permettant la collaboration entre les différentes instances agricoles et d'environnement concernées. Les experts de l'OCDE (OCDE, 1989) préconisent le recours à l'opinion publique, aux études d'impact, aux enquêtes publiques et aux plans d'utilisation des sols pour élaborer les objectifs communs. Enfin, la mise en oeuvre de cette politique se fera grâce à un ensemble d'instruments tels que l'information des agriculteurs sur les meilleures méthodes de gestion, la promotion du concept de responsabilité individuelle de protection de l'environnement, la tarification au coût marginal de l'eau et d'autres ressources naturelles.

Lutter contre les pollutions d'origine agricole et notamment contre les nitrates exigera peut-être la mise en place de politiques d'environnement plus réglementaires, basées, par exemple, sur les taxes à l'engrais, les redevances ou les normes de pollution. Les modèles bio-économiques, parce qu'ils peuvent simuler les stratégies d'adaptation de l'agriculteur face à des contraintes technico-économiques nouvelles, peuvent donner une idée des meilleures mesures à prendre.

On comprend donc l'intérêt de montrer la capacité de tels modèles à mesurer l'offre agricole et leur pertinence comme outils d'analyse des impacts socio-économiques des politiques agricoles et d'environnement.

## II

# FONCTIONS DE PRODUCTION ET MESURE DE L'OFFRE AGRICOLE

---

"Que produire, par quelles techniques, à quels moments précis de l'année et en quelles quantités ?". Telles sont toujours les décisions que doit prendre l'exploitant pour conduire son entreprise. Aujourd'hui, il s'en ajoute une nouvelle liée à la préservation du milieu naturel. En effet, clairement exprimée comme un objectif prioritaire dans le texte de la réforme de la Politique Agricole Commune et dans les mesures d'accompagnement nationales, la protection de l'environnement va s'imposer de plus en plus à l'agriculteur.

La défaillance du marché qui n'intègre pas le coût de la consommation des actifs naturels explique, en partie, pourquoi l'environnement a pu être dégradé quelquefois de façon irréversible. Désormais, des mesures correctives se mettent en place pour intégrer la valeur économique du milieu naturel.

La stratégie de production des agriculteurs va donc dépendre de critères d'environnement au même titre qu'elle dépend de la situation technico-économique, financière et humaine des exploitations. Or, ces éléments sont plus ou moins bien appréhendés sur la période de planification : rendements techniques et pollution du milieu, prix de vente et coûts de production, disponibilités en ressources physiques et financières restent difficiles à prévoir.

Désormais, pour réussir le développement de ses activités, l'agriculteur ne se contente plus uniquement de son intuition mais s'appuie aussi sur les analyses et les conseils des spécialistes de la gestion agricole.

Face à des réorientations complètes de la Politique Agricole Commune telles que la réforme Mac-Sharry et les mesures agri-environnementales qui l'accompagnent, ces analyses de gestion, au demeurant fort utiles dans un environnement stable, sont pour la plupart, inadaptées pour explorer les différentes stratégies possibles de l'entreprise. En effet, la majorité des simulations réalisées par les centres de gestion sur des cas réels d'exploitations agricoles reproduisent à l'identique les choix d'activité et les techniques utilisées sur la période passée et se contentent d'estimer l'impact sur le revenu en ne tenant compte que des variations de prix. Ce type d'exercice, intéressant sous l'hypothèse d'une totale rigidité du modèle de développement de l'entreprise, perd beaucoup de son intérêt dans le cas plus probable où différents horizons d'adaptation existent.

Alors comment prévoir en termes quantitatifs l'impact des modifications des règles d'échanges dans le secteur agricole sur les modes de développement des exploitations agricoles ? Voilà ce qui constitue la question centrale de notre réflexion. De la réponse dépend la pertinence de nos prévisions par rapport à l'offre et des avis que nous porterons sur les effets possibles d'une

politique donnée ainsi que de notre diagnostic sur la situation d'un système de production agricole quelconque, en particulier du point de vue de son efficacité et de sa productivité.

Aussi, il nous semble intéressant de présenter rapidement les formes analytiques et les méthodes disponibles pour modéliser le comportement des producteurs agricoles avant de réfléchir sur la mesure de l'efficacité des exploitations.

## SECTION I : LA FONCTION DE PRODUCTION EN ECONOMIE AGRICOLE

Dans tous les secteurs de l'économie, la décision de produire repose d'abord sur la définition de l'objectif à atteindre puis sur la recherche des méthodes techniquement les meilleures permettant d'y répondre. Si l'objectif est de construire une table, par exemple, on fera la liste des moyens nécessaires en déterminant les quantités et qualité de ceux-ci afin de produire l'objet. La combinaison la meilleure, c'est à dire permettant de produire la quantité maximum d'output (la table) avec une quantité donnée d'inputs (bois, outils, temps...) ou de façon équivalente, qui permet de produire une quantité donnée d'output avec la quantité minimale d'inputs représente la fonction de production<sup>1</sup>. On l'écrit généralement :

$$f(x,y) = 0$$

où  $x$  est un vecteur d'inputs et  $y$  un vecteur d'outputs, généralement réduit à un seul élément.

La détermination de la combinaison technique idéale reste très théorique. Dans la pratique, on peut distinguer deux approches. Celle de l'ingénieur qui examinera diverses méthodes de production empiriques afin de déterminer celle qui répondra le mieux aux objectifs et celle de l'économiste qui considère connue la fonction de production et analyse les relations entre output et inputs (CHENERY, 1949).

L'approche économétrique usuelle repose donc sur l'emploi conjugué de l'inférence statistique et de formes analytiques prédéterminées. Cette démarche consiste à utiliser un échantillon pour déterminer les paramètres d'une fonction de production dont la forme est définie par avance (Cobb Douglas, C.E.S., Translog...). En d'autres termes, on détermine le processus de production moyen d'une population, représentative si possible, en fonction de facteurs de production disponibles, en faisant abstraction des relations techniques à l'origine de la transformation des inputs en output. On s'éloigne en fait considérablement de la définition première de la fonction de production.

L'application des fonctions de production de type économiste est très largement répandue pour modéliser l'offre agricole. Pourtant, elle présente de nombreux inconvénients tant au niveau théorique que comme application au secteur agricole.

Il faut d'abord remarquer qu'en agriculture, le vecteur d'outputs peut difficilement être réduit à un élément unique qui serait, par exemple, le volume global de la production. Il est en effet

---

<sup>1</sup> Le producteur aura aussi le souci de produire le maximum d'output avec le minimum d'inputs au moindre coût. La fonction qui associe la quantité produite au coût minimal est par définition la fonction de coût.

important de pouvoir analyser l'influence des inputs sur les différentes activités qui composent cette production : un kilo d'azote n'aura pas le même effet sur la production de blé et de betterave.

De plus, les facteurs de production en agriculture sont généralement en très grand nombre.

Enfin, la multiplicité des systèmes de production implique logiquement l'étude séparée de l'offre agricole par type d'entreprise. Pour obtenir l'offre globale, il faut alors réaliser l'agrégation de multiples résultats individuels. Mais cette démarche pose plusieurs types de problèmes :

- L'agrégation de milliers de résultats individuels est impossible. Le recours à une typologie est donc obligatoire. Or, la construction d'une typologie fine est difficile car le nombre de catégories entrant en jeu est très important, et utiliser une typologie grossière donne des résultats peu satisfaisants.
- D'un point de vue plus théorique, un obstacle important provient des "éventuels conflits d'intérêt qui opposent normalement les agriculteurs entre eux" (BOUSSARD, 1987). Le problème est de réussir à modéliser correctement la manière dont ces conflits se résolvent avant de procéder à l'agrégation des résultats.

Une réponse à ces problèmes peut être de raisonner directement au niveau global du secteur sans tenir compte des comportements individuels. Mais se priver de telles informations fait obligatoirement apparaître d'autres difficultés.

Aussi la démarche classique consiste-t-elle à combiner les deux approches, en partant de la connaissance des comportements individuels pour en tirer des conjectures sur les phénomènes globaux résultants. Ces conjectures sont alors modélisées sous forme d'équations dont un certain nombre de paramètres peuvent être issus de l'inférence statistique. La majorité des modèles du secteur agricole qui existent sont construits de cette manière.

## SECTION II : LES FORMES ANALYTIQUES ET L'INFERENCE STATISTIQUE

Dans l'approche paramétrique, la fonction de production s'écrit ainsi :

$$Y = f(X, a)$$

avec  $a$  vecteur des paramètres constants

Les formes analytiques les plus couramment utilisées sont la fonction Cobb Douglas, la C.E.S. ou la Translog. Ces fonctions présentent pourtant des simplifications injustifiables pour analyser l'offre agricole comme une élasticité de substitution unitaire ou constante pour les deux premières formes, et une approximation valable dans un intervalle de variation réduit autour du point d'équilibre pour la forme Translog (BOUSSARD, 1987).

Au-delà de la qualité du modèle économétrique et la difficulté de choisir la forme fonctionnelle la moins contraignante et la plus proche de la réalité, le recours à l'inférence statistique pose lui-même, un certain nombre d'interrogations.

D'une part, un nombre limité d'observations dans les échantillons de firmes peut empêcher l'estimation des paramètres des fonctions (car le nombre de paramètres doit être inférieur à celui des observations) surtout dans le cas de certaines formes analytiques.

D'autre part, il est parfois difficile de garantir le caractère aléatoire de certains échantillons.

Une alternative possible est d'obtenir les données par voie expérimentale, permettant ainsi de générer le nombre de résultats nécessaires pour l'estimation statistique et de constituer un échantillon réellement aléatoire. Cependant, les travaux agronomiques sont difficilement exploitables par des économistes, parce que généralement les agronomes produisent une information de type qualitatif qui ne quantifie pas, ou partiellement, les techniques testées. En d'autres termes, les recherches agronomiques et économiques divergent quant au type d'information générée et utilisée par chacune (VICIEN, 1989).

De plus, l'utilisation de l'inférence statistique repose sur la considération des sources de variabilité que sont le temps et l'espace. La variation dans l'espace se traduit, au niveau de l'échantillon lui-même, par la réunion de firmes différentes. Mais dans ces conditions peut-on garantir que ces entreprises sont toutes soumises à la même fonction de production et qu'il est possible de construire cette dernière par une estimation correcte des paramètres ?

En ce qui concerne la variation dans le temps, la méthode économétrique présente une limite majeure dans le cadre de la réforme de la P.A.C. En effet, comment peut-on modéliser l'avenir grâce au passé alors qu'une baisse de 35 % des prix en trois ans ne s'est jamais produite sur la période concernant les séries statistiques disponibles ? Comment évaluer les stratégies d'adaptation des agriculteurs face à des contraintes d'environnement inconnues jusqu'alors ?

Enfin, faire appel à l'inférence statistique oblige le modélisateur à synthétiser l'information pour ne pas être contraint par le nombre de degrés de liberté du modèle. On procède donc à l'agrégation des inputs et des outputs via le système de prix. Or ces agrégations supposent que l'on connaisse les fonctions de production sous-jacentes permettant d'obtenir les optima techniques.

La détermination des paramètres de la forme fonctionnelle permet de construire la frontière de production. Cette frontière représente les quantités maximales d'output accessibles pour une quantité d'input donnée. En ce sens, la fonction de production matérialise les optima techniques. La mesure de l'efficacité des entreprises se traduit par l'appréciation des écarts qui séparent chacune des firmes de l'échantillon, de la fonction de production, considérée ici comme une frontière du possible.

Or toutes les méthodes d'estimation des frontières de production (déterministes, stochastiques, paramétriques) posent le problème de l'interprétation à donner à cet écart. Ainsi, l'écart mesuré est-il entièrement dû à de l'inefficacité, ou contient-il une part aléatoire (erreur de pondération des facteurs, échantillon biaisé...) ? Comment mesurer cette part, quelle loi statistique retenir ?

On le voit, pour toutes ces raisons, il n'y a pas de rapports techniques purs qui puissent être mis en évidence par les fonctions de production de type "économistes" (CAVALLO, MUNDLAK, 1982).

Une voie différente, mais toute aussi usuelle, consiste à estimer les fonctions de production en utilisant les modèles de programmation linéaire (BOUSSARD, DAUDIN, 1988). En général les programmes linéaires s'appuient sur des techniques rigides du type Léontief. Pour éviter ce défaut, nous construisons plusieurs techniques substituables en définissant un certain nombre d'activités dont les coefficients techniques sont obtenus par un modèle de croissance de plantes.

Cette démarche permet de mettre en évidence que l'élasticité de substitution n'est pas une valeur constante au niveau des différents points et repose sur la construction d'une "matrice technologique". Comme le dit Carmen VICIEN (1991), "l'utilisation de la programmation linéaire se base sur la représentation de la réalité à partir de l'information technique disponible a priori".

Dans ce contexte, nous ne raisonnons plus en termes d'efficacité relative au sein d'un échantillon, mais nous calculons, pour une exploitation agricole représentative et une région donnée, le revenu absolu optimal possible compte tenu des contraintes auxquelles l'exploitant agricole est soumis.

Cette méthodologie consiste donc à représenter l'environnement technico-économique de firmes représentatives et d'évaluer l'évolution des résultats économiques en fonction de scénarios probables de politiques agricoles<sup>2</sup>.

### **SECTION III : LES MODELES DE SIMULATION DE CROISSANCE DES PLANTES**

Une des originalités de cette recherche repose sur l'utilisation d'un modèle de simulation agronomique comme source de résultats techniques introduits dans des modèles d'optimisation économique.

Les résultats disponibles avec un tel outil sont à la fois liés à la production et à la pollution (et l'érosion) engendrées par l'activité agricole. Cette double approche est un atout majeur pour engager une analyse économique et écologique des politiques agricoles.

---

<sup>2</sup> Politiques commerciales et environnementales.

### III.1 DÉFINITION

Les réactions biochimiques qui transforment l'énergie en biomasse définissent le processus de croissance végétale. Aujourd'hui, l'interaction des différentes influences qui commandent ce passage de l'énergie à la matière est relativement bien connue des biométriciens. Les très importants travaux expérimentaux effectués par les instituts agronomiques<sup>3</sup> ont permis la mise en équation de la plupart des phénomènes biologiques à l'origine du développement des plantes<sup>4</sup>.

Ainsi, tend-on à maîtriser l'influence exacte de l'environnement sur la croissance, c'est-à-dire, les **effets séparés et associés** de la qualité des sols, du climat, des fertilisants, des pratiques culturales, ... sur le développement végétal. Cette connaissance, même si elle repose sur un certain nombre de règles générales, s'appuie d'abord sur une étude spécifique des caractéristiques physiologiques de chaque plante.

En effet, les diverses cultures n'ont pas le même cycle végétatif et présentent des besoins et des sensibilités distincts. Dans ce contexte, des travaux parallèles sont menés pour étudier en profondeur les processus de la croissance de chacune des différentes productions végétales.

Cette approche systématique a permis la représentation des différents phénomènes et de leurs interrelations. C'est ainsi qu'il existe, depuis plusieurs années, des méthodes purement agronomiques pour établir les rapports inputs/outputs en ce qui concerne les productions végétales. Ce sont des modèles de simulation de la croissance des plantes. L'expression "modèle de simulation" signifie que le système se comporte comme une plante réelle, aux différents organes représentés, répondant à l'influence simultanée des divers paramètres constituant son environnement. Basé sur l'itération des résultats, le modèle simule ainsi le comportement réel d'une plante au cours du temps.

La plupart des modèles sont issus d'une double approche. Une approche mécaniste, basée sur une définition explicite des causalités entre les variables, et une approche empirique issue d'une connaissance plus limitée de certains phénomènes et basée sur l'observation expérimentale. Ainsi, les modèles sont construits d'une part, à partir de fonctions mathématiques qui retracent le comportement des plantes et d'autre part, à partir d'une description des processus.

De tels modèles peuvent fournir à l'économiste, les résultats en termes de production des différentes combinaisons de facteurs de production. Ils constituent de ce fait, un moyen très intéressant pour construire des fonctions de production d'ingénieur (BOUSSARD, JACQUET, FLICHMAN, 1987). De plus, élaborés dans le but d'approfondir les connaissances des processus agronomiques, les modèles de simulation de croissance des plantes sont très utiles pour analyser les conséquences des changements des pratiques agricoles (JONES, 1988).

---

<sup>3</sup> Dont l'Institut National de Recherches Agronomiques.

<sup>4</sup> Certains agronomes récusent complètement cette approche.

## III.2 LE MODÈLE E.P.I.C.

### III.2.1 PRÉSENTATION DU MODÈLE

La construction d'un modèle est un travail très complexe, la simulation parfaite de la réalité demeurant irréalisable. Cependant, certains modèles sont parvenus à intégrer un grand nombre de facteurs et de cultures, et aboutissent à des résultats encourageants.

Pour notre recherche, nous avons choisi le modèle E.P.I.C. (Erosion Productivity Impact Calculator), modèle américain mis en place depuis 1981 par l'équipe du Blacklands Research Station à Temple (Texas). Ce simulateur propose une vision plus globale des systèmes agronomiques par rapport aux modèles traditionnels (C.E.R.E.S.-Maize, C.E.R.E.S.-Wheat,...)<sup>5</sup>. Par ailleurs, l'application aux données françaises bénéficie des travaux importants des agronomes de l'I.N.R.A. de Toulouse (CABELGUENNE et al., 1990), qui ont introduit des améliorations au modèle concernant notamment le stress hydrique et la fixation de l'azote de l'air par les légumineuses.

E.P.I.C. a été créé d'abord pour représenter les processus liés à l'érosion et mettre en évidence l'influence de celle-ci sur la productivité du sol (J. WILLIAMS, A. JONES, P. DYKE, 1984). Ainsi, E.P.I.C. simule l'interaction entre les processus du sol, du climat, de la plante et de la conduite des cultures dans la production agricole (J. PUTMAN, P. DYKE, 1987). Par conséquent, étant donné une série d'intrants et de contraintes physiques, ce modèle optimise le rendement agronomique de près de 70 cultures différentes.

E.P.I.C. est construit à partir de sous-modèles interdépendants (cf. fig. 1) :

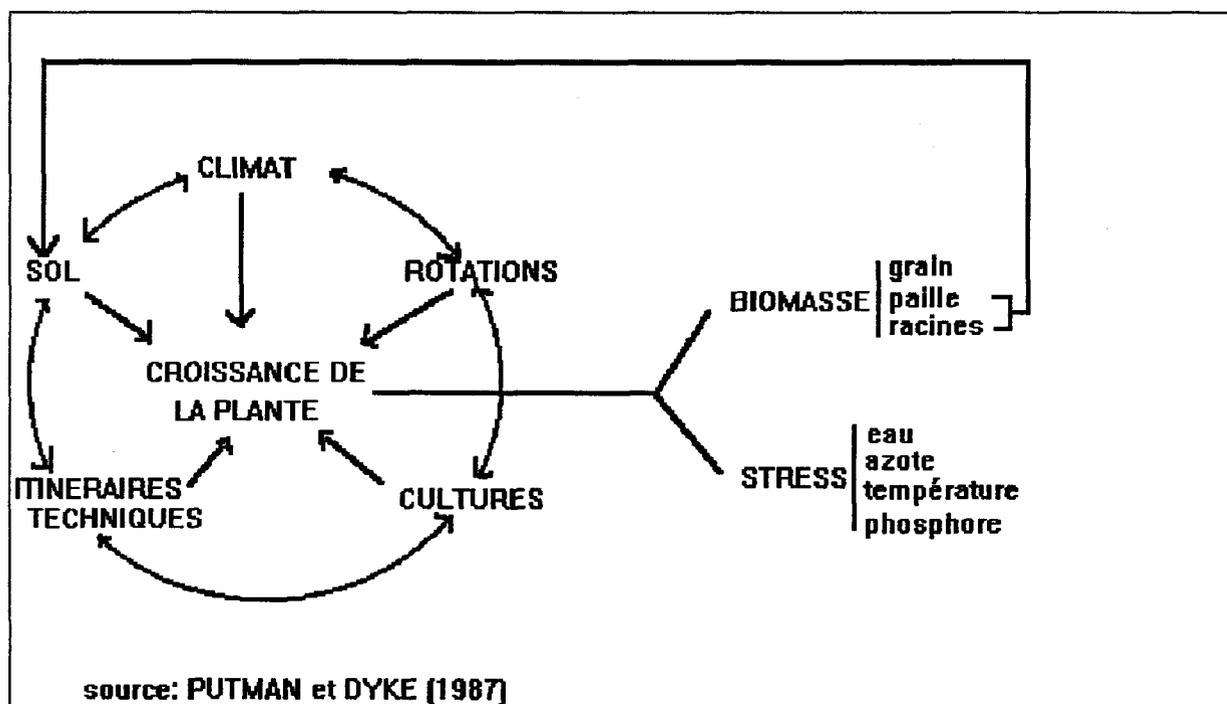


Fig 1 : Les interrelations dans le modèle E.P.I.C.

<sup>5</sup> Les modèles C.E.R.E.S. (JONES et KINIRY, 1986) et équivalents estiment le comportement physiologique des plantes en fonction de variables (température, pluviométrie, ensoleillement,...) considérées comme exogènes. Les processus chimique et physiques du sol et l'influence des rotations et des façon culturales ne sont pas modélisés.

Le **climat** est représenté d'une manière très précise. Le modèle prend en compte les données journalières suivantes : les températures minimales et maximales, le rayonnement solaire, les précipitations. Il considère également des informations mensuelles sur la direction et la vitesse du vent. Du point de vue de l'hydrologie, E.P.I.C. simule le volume et le taux de décharge de l'eau à partir des précipitations, de la neige, de l'irrigation et du drainage.

Le **sol** est soigneusement décrit au niveau d'E.P.I.C. Ainsi sont définis pour chaque horizon, la densité, la granulométrie, la quantité d'azote organique, de nitrates et de carbone organique, le pH, le complexe absorbant, la capacité au champ, le point de flétrissement, les résidus de cultures et la présence de phosphore. L'érosion est mise en évidence par les pertes de sol d'origines hydrique et éolienne.

Les **itinéraires techniques** sont basés sur le déroulement dans le temps des travaux agricoles. Ainsi, sont pris en compte : les dates d'intervention, les travaux du sol et les matériels utilisés, les opérations phytosanitaires avec les doses employées, les fertilisations et les quantités d'azote et de phosphore appliquées, les cultures ensemencées.

Le sous-modèle de **croissance des plantes** simule l'interception de la lumière, la conversion d'énergie en biomasse, sa répartition entre les racines, la partie aérienne et le grain, ainsi que la consommation d'eau et de nutriments. La croissance végétale peut être limitée par stress d'eau, de nutriments (azote et phosphore), par excès ou manque de température, par la mauvaise aération du sol.

Les paramètres spécifiques à chaque **culture** sont repris dans un fichier connexe directement utilisé par le sous-modèle de croissance des plantes. Ce fichier reprend les caractéristiques de croissance, les paramètres physiques et les propriétés biochimiques des espèces.

Le sous-modèle des **rotations** permet de considérer la succession des cultures sur plusieurs années et la prise en compte de l'effet des précédents culturaux.

E.P.I.C. génère de nombreux résultats journaliers, mensuels ou annuels. Ces résultats sont de deux ordres : d'une part, des résultats agronomiques tels les rendements et les stress subis par les cultures, qui sont de bons indicateurs quant aux performances obtenues, et d'autre part, des résultats d'environnement tels l'érosion et les pertes totales d'azote par ruissellement et percolation. A ce propos les mécanismes de la dynamique de l'azote sont individualisés : minéralisation et réorganisation, immobilisation, fixation, percolation, ruissellement, azote emmené par les sédiments, azote prélevé par les cultures, évaporation et évapotranspiration.

Comme le souligne Carmen VICIEN (1989), "ce type de modèle de simulation peut être employé pour l'évaluation<sup>6</sup> de différents systèmes de production agricole, pour l'estimation des rendements des diverses techniques culturales, pour la prédiction des rendements dans différentes régions, pour l'ajustement de certaines techniques comme l'irrigation ou la fertilisation et, enfin

---

<sup>6</sup> Evaluation technico-économique et environnementale.

pour l'évaluation de la dégradation du sol à cause de l'érosion et des systèmes de culture qui supposent une utilisation trop intensive du sol".

Cependant, E.P.I.C. présente quelques limites :

La version actuelle du logiciel modélise mal l'impact des maladies qui peuvent affecter les cultures, et par conséquent l'influence des traitements phytosanitaires appliqués par l'agriculteur reste très limitée<sup>7</sup>.

Le nombre très important des paramètres nécessaires pour une modélisation fine de la réalité est un obstacle supplémentaire.

Enfin E.P.I.C. n'apprécie probablement pas suffisamment les effets des pratiques individuelles du producteur dans l'obtention des résultats.

Du point de vue des paramètres environnementaux, en particulier les pertes d'azote, les résultats recueillis doivent être considérés avec prudence (même si E.P.I.C. tient compte, pour les calculer, des paramètres du sol, du climat et des techniques culturales). En effet, la comparaison avec la réalité n'est pas vraiment possible, compte tenu du peu d'informations disponibles<sup>8</sup>. Les résultats obtenus par simulation ne peuvent donc être considérés, avec certitude, quantitativement exacts. Cependant, leur ordre de grandeur sont tout à fait réalistes pour les régions étudiées. De plus, E.P.I.C. présente quand même le grand avantage de proposer des valeurs non disponibles par ailleurs, ce qui permet de comparer l'impact environnemental des systèmes de production<sup>9</sup> (LEFER, BLASKOVIC, 1994 ).

### III.2.2 VALIDATION DU MODÈLE

L'utilisation des modèles de simulation de croissance des plantes pose le problème de la validation des résultats obtenus, c'est-à-dire de leur cohérence par rapport à la réalité. Depuis plusieurs années, l'I.N.R.A. de Toulouse effectue un travail important de validation, en ajustant le modèle aux données agricoles françaises et en le testant à partir de résultats issus de parcelles expérimentales (MARTY JR., HUTTER W., RELLER JP., 1981 ; CALBEGUENNE M., CHARPENTEAU JL., JONES CA., MARTY JR., RELIER JP., 1986).

A l'échelle de cette recherche, la validation d'E.P.I.C. aux réalités des régions agricoles étudiées est l'étape préliminaire. Elle consiste à obtenir les paramètres nécessaires à la simulation, avec le maximum de précision, de représenter les pratiques culturales régionales, de comparer les résultats calculés avec ceux réellement obtenus, et s'il le faut d'ajuster les données.

---

<sup>7</sup> Ce problème est complexe. L'apparition des agents pathogènes est le résultat de la conjonction de multiples facteurs climatiques et cultureux, et il convient plus de parler de probabilité d'apparition de telle ou telle maladie. La modélisation de ces phénomènes n'en est que plus délicate. Dans la pratique, une bonne représentation des attaques pathogènes repose sur la connaissance du niveau d'inoculum en début de printemps, des conditions climatiques optimales pour le développement, de la sensibilité des cultures. L'efficacité des traitements dépend des matières actives employées, des conditions météorologiques, de l'état de propreté de la parcelle...

<sup>8</sup> On ne trouve dans la réalité que très peu de données sur les quantités d'azote perdues (par ruissellement et lessivage) en fonction des conditions pédo-climatiques et culturales. Les données les plus fréquemment disponibles sont les reliquats azotés qui mesurent à un moment donné les quantités d'azote présentes dans le sol afin d'ajuster les doses d'engrais à apporter.

<sup>9</sup> Au moins en ce qui concerne les pertes d'azote. Bien évidemment, ce n'est là qu'un aspect des atteintes portées à l'environnement par l'agriculture.

Néanmoins, il faut souligner qu'E.P.I.C. simule des résultats sur la base de l'exploitation optimale des conditions physiques et techniques. En ce sens, E.P.I.C. modélise le comportement et les résultats des exploitants les meilleurs. Dans ce contexte, la validation du modèle sur la base de statistiques régionales, construites en agrégeant les différents niveaux de performance obtenus, présente quelques difficultés. On préférera donc tabler la validation sur des résultats réellement obtenus par quelques exploitations représentatives des meilleures performances régionales.

### **III.3 E.P.I.C. COMME FONCTION DE PRODUCTION**

Le modèle agronomique est de type récursif : les résultats de l'année  $n$  permettent d'avoir une partie des coefficients techniques nécessaires pour les optimisations de l'année  $n+1$ . Cette méthode permet d'avoir une très riche représentation de l'univers technique possible. Pour cela, il faut faire varier systématiquement les paramètres qui représentent la fertilisation, les façons culturales, l'irrigation, les labours, la rotation de cultures et les variétés.

Les sorties d'E.P.I.C. permettent de voir les rapports existants entre l'utilisation de différents facteurs de production en prenant compte d'une manière systémique des interactions agronomiques (entre la séquence de cultures, la fertilisation et l'irrigation, par exemple).

Il est aussi possible d'obtenir pour chaque technique simulée, certains indicateurs très significatifs du point de vue de la préservation de l'environnement, notamment l'érosion du sol et la quantité d'azote entraînée au-delà des zones racinaires et représentant un élément essentiel dans l'étude des risques de pollution.

En reproduisant les données pédo-climatiques d'une région ainsi que les choix et le niveau techniques rencontrés sur une exploitation individuelle, il est possible d'ajuster une fonction de production pour chaque activité pratiquée sur l'exploitation. L'ensemble de ces activités représentera pour cette exploitation l'éventail des choix possibles. L'étude de ces possibilités constituera donc quasiment un plan d'expérimentation. Cette méthodologie permet ainsi, une représentation de l'ensemble des possibilités de production tant à l'échelle de l'exploitation individuelle qu'à l'échelle d'une région et donc la construction de fonctions de production à chacun de ces niveaux.

Par conséquent, E.P.I.C. qui maximise les rendements agronomiques sous diverses contraintes physiques et à partir d'une série d'intrants, modélise, une véritable fonction de production.

Si on utilise les données obtenues au moyen de la simulation comme s'il s'agissait de données réelles récoltées sur le terrain, on pourra ajuster des fonctions de production, en employant une méthodologie économétrique. Les fonctions continues obtenues présenteront l'avantage de pouvoir être dérivées. On pourra, également, estimer des intervalles de confiance et donc étudier la stabilité des valeurs estimées (C. VICIEN, 1989).

De plus, le recours à E.P.I.C. permet l'étude de nouvelles techniques qui n'ont pas d'autres possibilités d'être validées. On peut ainsi tester des conditions de production (en termes pédo-climatiques, techniques, ...) beaucoup plus larges que celles permises par l'expérimentation (J. LOWENBERG-De BOER, J-H. CHENERY, 1987).

## SECTION IV : LA PROGRAMMATION LINEAIRE ET LA MODELISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

Les modèles d'optimisation des exploitations utilisant la programmation linéaire aident à répondre aux interrogations : "Que produire, par quelles techniques, à quels moments précis de l'année et en quelles quantités ?". En reliant de manière adéquate les objectifs et les contraintes qu'affrontent les agriculteurs, il est possible de prévoir de manière assez précise ce que décideront les agriculteurs dans tel ou tel scénario.

Dans sa forme la plus simple, un programme linéaire est une méthode qui permet de déterminer une combinaison optimale (en termes de revenu) des ressources productives (terres, travail, matériel, consommations intermédiaires, actifs monétaires, ...) respectant toute une série de contraintes (potentialités agronomiques, dotations factorielles, disponibilités financières, ...).

L'objectif de cette section est justement d'exposer les grands principes d'un modèle utilisant la programmation linéaire pour simuler le développement d'une entreprise agricole, de rappeler les hypothèses sous-jacentes de cette méthodologie et d'insister sur deux apports opérationnels essentiels de tels travaux : l'interprétation économique de la dualité et la modélisation du risque dans la modélisation de l'exploitation agricole.

### IV.1 UN MODÈLE DE BASE

La modélisation de l'exploitation agricole par la programmation linéaire s'appuie sur plusieurs types de données concernant :

- les différentes activités de l'exploitation, leurs unités de mesure, leurs degrés d'utilisation des ressources factorielles ;
- les dotations factorielles disponibles ;
- les marges brutes unitaires prévues sur chaque activité (recettes moyennes-coûts variables moyens).

Soit,

- $X_j$  = le niveau de l'activité  $j$  (surface en ha d'une production particulière comme le blé tendre),  $j$  variant de 1 à  $n$  ;
- $c_j$  = la marge brute d'une unité de l'activité  $j$  (marge brute en francs d'un hectare de blé tendre) ;
- $a_{ij}$  = la quantité de facteur  $i$  nécessaire pour produire une unité d'activité  $j$  (nombre d'heures de travail pour un hectare de blé tendre),  $i$  variant de 1 à  $m$  ;
- $b_i$  = dotation en ressource  $i$  (disponibilité totale en main-d'oeuvre sur l'exploitation).

Le programme linéaire s'écrit :

$$\max Z = \sum c_j * X_j \quad (1)$$

sous contraintes :

$$\sum a_{ij} * X_j \leq b_i \text{ pour tout } i \quad (2)$$

$$X_j \geq 0 \text{ pour tout } j \quad (3)$$

Les équations 1, 2 et 3 déterminent les différents niveaux des activités  $j$  qui permettent d'obtenir le plus gros revenu  $Z$  (marge brute totale) tout en respectant les contraintes des ressources factorielles  $b_i$ . L'équation 1 s'appelle la fonction objectif, les contraintes 2 se dénomment les lignes, les activités  $j$  les colonnes, les dotations factorielles  $b_i$ , les R.H.S (Right Hand Side) et les termes  $a_{ij}$  les coefficients techniques du programme linéaire.

Un exemple fictif d'une exploitation agricole de 200 hectares produisant quatre cultures (blé tendre, orge, maïs, pois protéagineux) nous permet d'illustrer ce premier modèle :

Tableau 1  
Programme linéaire d'une exploitation de 200 hectares  
(exemple fictif)

Lignes	Blé tendre	Orge	Maïs	Pois	R.H.S.
Fonction objectif (F)	7 400	5 000	5 700	8 500	maximiser
Surface (ha)	1	1	1	1	$\leq 200$
Travail (heures)	20	20	12	10	$\leq 1\,800$
Traction (heures)	14	14	9	6	$\leq 750$
Récolte (heures)	1	1	1		$\leq 250$

Ce tableau nous indique que pour produire un hectare d'orge qui rapporte une marge brute de 5 000 F, il faut utiliser 20 heures de main-d'oeuvre, 14 heures de matériel de traction et 1 heure de matériel de récolte, les disponibilités en chacun de ces trois facteurs de production valant respectivement 1 800 heures, 750 heures et 250 heures.

La version algébrique de cette illustration s'écrit :

$$\max Z = 7\,400 * X_1 + 5\,000 * X_2 + 5\,700 * X_3 + 8\,500 * X_4$$

sous contraintes :

$$\begin{aligned} 1 * X_1 + 1 * X_2 + 1 * X_3 + 1 * X_4 &\leq 200 \text{ ha} \\ 20 * X_1 + 20 * X_2 + 12 * X_3 + 10 * X_4 &\leq 1\,800 \text{ heures} \\ 14 * X_1 + 14 * X_2 + 9 * X_3 + 6 * X_4 &\leq 750 \text{ heures} \\ 1 * X_1 + 1 * X_2 + 1 * X_3 + 1 * X_4 &\leq 250 \text{ heures} \\ X_1, X_2, X_3, X_4 &\geq 0 \end{aligned}$$

avec  $X_1$  la surface en blé,  $X_2$  la surface en orge,  $X_3$  la surface en maïs,  $X_4$  la surface en pois.

## IV.2 LES HYPOTHÈSES SOUS-JACENTES

Pour qu'une telle représentation du fonctionnement des exploitations agricoles soit correcte, il faut admettre plusieurs hypothèses qu'il convient de préciser.

L'hypothèse de linéarité est de loin la plus importante. Elle stipule qu'il y a une stricte relation proportionnelle entre les niveaux de production et les ressources factorielles. Cultivés avec la même technique, deux hectares de blé exigent deux fois plus de dépenses en main-d'oeuvre et en matériel qu'un seul hectare. Cette hypothèse de linéarité résulte de l'additivité et de la proportionnalité des activités imposant d'une part, que la somme des productions de plusieurs activités individuelles est juste égale à l'output de la combinaison de ces activités (il n'y a pas d'interaction entre les activités) et d'autre part, que la marge brute ainsi que les besoins en facteurs de production par unité d'activité sont constants quel que soit le niveau de production de l'activité considérée. Ces conditions donnent deux propriétés remarquables à la fonction de production :

- les isoquants représentant les différentes combinaisons des activités sont linéaires ;
- la relation entre la valeur de la fonction objectif et les dotations factorielles est homogène de degré 1 (rendements d'échelles constants), si les ressources  $b_i$  sont multipliées d'un facteur  $k$ , le revenu augmente d'un facteur  $k$ .

L'hypothèse des rendements d'échelle constants, propriété fondamentale des programmes linéaires, établit un résultat bien connu en micro-économie de la production : à la solution optimale, si les facteurs de production sont évalués à leur productivité marginale, la somme des dépenses (somme des  $b_i$  pondérés par leur valeur marginale) est juste égale à la valeur de l'output (valeur de la fonction  $Z$ ).

L'hypothèse de linéarité n'est pas tout à fait vraie dans le fonctionnement d'une exploitation. En effet, les temps d'entretien d'une moissonneuse-batteuse sont pratiquement égaux qu'elle ait été utilisée pour 50 ha ou 100 ha. Si l'on suppose cette dépense comme fixe, on peut alors considérer que ce qui importe pour la décision de l'exploitant c'est le surcroît d'heures d'utilisation du matériel entraîné par telle ou telle culture. Mais, une autre limite de ce type de modèle à rendement d'échelle constant est constituée par le fait que les éléments  $a_{ij} \cdot X_j$  sont supposés être des nombres réels positifs quelconques. Si ces éléments représentent le nombre de tracteurs, il peut être à première vue gênant que la solution optimale puisse donner un résultat fractionnaire.

Cette hypothèse de divisibilité qui est au centre de la controverse sur les économies d'échelle, n'est pourtant pas trop restrictive par rapport à la réalité.

Premièrement, de multiples études ont montré qu'il est possible d'approcher la solution optimale sans la déformer d'une manière inacceptable, en arrondissant les résultats réels aux entiers les plus proches. Deuxièmement, même si un gros tracteur laboure plus profondément qu'un petit, il reste toujours possible pour une exploitation de taille modeste de louer les services de cette machine puissante à une entreprise de travaux agricoles pour un temps aussi faible qu'elle le désire.

Le développement des services "travaux à l'entreprise" dans les secteurs agricoles des pays développés témoigne que les gros matériels, bien plus efficaces que les petits, ne posent plus de problèmes majeurs d'indivisibilité aux exploitations de faible taille.

En définitive, malgré ces hypothèses sous-jacentes aux programmes linéaires, le modèle défini par les équations 1, 2 et 3 peut être considéré comme une représentation certes approximative mais globalement satisfaisante d'une partie au moins des problèmes de décision des exploitations agricoles (J-M. BOUSSARD, 1987).

### IV. 3 LA DUALITÉ ET SON INTERPRÉTATION ÉCONOMIQUE

Le programme linéaire précédent est un outil d'aide à la décision pour l'agriculteur qui cherche à déterminer le plan de développement qui maximise son revenu tout en respectant un certain nombre de contraintes agronomiques, techniques et financières. La solution optimale permet de répondre à une nouvelle interrogation importante : quels prix optimaux l'exploitant est-il prêt à payer pour acheter des unités supplémentaires des différents facteurs de production s'il désire augmenter son revenu ?

Si les prix des nouvelles quantités factorielles sont supérieurs à la recette supplémentaire qu'elles autorisent, l'agriculteur perdra de l'argent en augmentant sa production. Dans le cas contraire, il a intérêt à développer ses activités puisque chaque nouvelle unité produite rapporte plus qu'elle ne coûte. Ainsi, à la solution optimale, le prix de chaque ressource est égal à sa productivité marginale en valeur qu'on appelle en programmation linéaire "shadow prices".

Il est facile d'établir un programme linéaire déterminant les shadow prices des facteurs de production.

Soit  $\lambda_i$  le shadow price du facteur  $i$ , le modèle cherche à minimiser la somme des dépenses  $W$  sous les  $n$  contraintes imposant que la valeur totale des ressources utilisées pour produire une unité de l'activité  $j$  soit supérieure ou égale à la marge unitaire que rapporte cette activité.

$$\min W = \sum b_i \cdot \lambda_i \quad (4)$$

sous contraintes :

$$*) \sum a_{ij} \cdot \lambda_i \geq c_j \text{ pour tout } j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$**) \lambda_i \geq 0, \text{ pour tout } i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Le programme (4, 5 et 6) est le dual du primal (1, 2 et 3). A titre d'illustration, le dual de notre exemple précédent s'écrit :

$$\min W = 200 \cdot \lambda_1 + 1\,800 \cdot \lambda_2 + 750 \cdot \lambda_3 + 250 \cdot \lambda_4$$

sous contraintes :

$$1 \cdot \lambda_1 + 20 \cdot \lambda_2 + 14 \cdot \lambda_3 + 1 \cdot \lambda_4 \geq 7\,400 \text{ F}$$

$$1 \cdot \lambda_1 + 20 \cdot \lambda_2 + 14 \cdot \lambda_3 + 1 \cdot \lambda_4 \geq 5\,000 \text{ F}$$

$$1 \cdot \lambda_1 + 12 \cdot \lambda_2 + 9 \cdot \lambda_3 + 1 \cdot \lambda_4 \geq 5\,700 \text{ F}$$

$$1 \cdot \lambda_1 + 10 \cdot \lambda_2 + 6 \cdot \lambda_3 + 1 \cdot \lambda_4 \geq 8\,500 \text{ F}$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \geq 0$$

Le programme primal respecte toujours le théorème d'Euler appliqué aux fonctions homogènes de degré 1. Il indique que la valeur de l'output doit être juste égale à la somme des quantités de facteurs de production évalués à leur coût d'opportunité respectif. Ainsi, la marge brute totale  $Z$  optimale est juste égale à  $W$  mesurant la somme des ressources  $b_i$  pondérées par leur shadow price (coût global de production minimum).

Le profit d'opportunité est nul, la production en valeur est entièrement absorbée par la rémunération des facteurs. Ce résultat bien connu en théorie de la production nous permet d'établir un résultat important en programmation linéaire à savoir qu'à l'optimum les valeurs des fonctions objectives des programmes primal et dual sont égales (HAZELL B.R., NORTON D., 1986).

#### **IV.4 LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE ET DES CONTRAINTES DE LIQUIDITÉ**

A partir des résultats précédents, nous pouvons facilement nous apercevoir que tant qu'il existe des techniques de production rentables au prix de marché, l'agriculteur aura intérêt à investir et à développer son exploitation à l'infini (les rendements d'échelle constants impliquent une taille de production infinie à l'optimum).

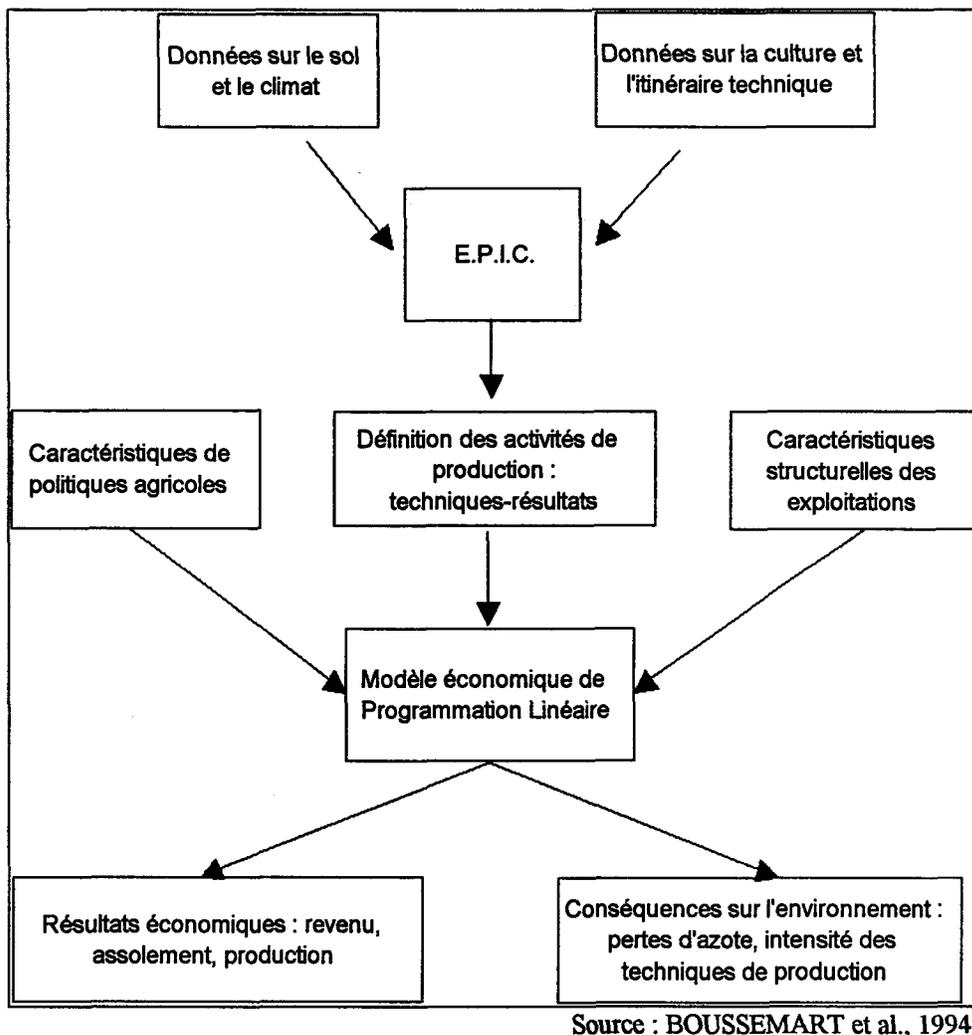
Cependant, l'exploitation agricole individuelle est caractérisée par le fait qu'il n'existe qu'un seul décideur responsable personnellement de toutes les conséquences de ses choix d'activité et d'investissement. L'inconvénient majeur de ce statut juridique est que le développement de l'exploitation est limité par le capital qu'elle peut apporter soit par ses propres fonds, soit par le crédit qui atteindra vite une limite ; les garanties apportées au banquier ne peuvent dépasser la richesse individuelle de l'agriculteur.

Si par ailleurs, on introduit le risque auquel sont soumises les activités agricoles (aléas climatiques, incertitude des marchés et des politiques agricoles, délais entre les dépenses et les récoltes, ...), la possibilité d'accès au crédit se restreint davantage puisque l'entrepreneur et le banquier calculent un coût d'opportunité du crédit et des ressources financières plus élevé que le prix de marché.

C'est pourquoi en agriculture, les contraintes financières et le risque modifient profondément le comportement du producteur. Il est donc impossible de négliger ces aspects des choses dans la construction d'un modèle micro-économique. En effet, il apparaît essentiel de noter que certaines activités réputées "sûres" sont plus recherchées que d'autres en moyenne plus avantageuses au regard des prix de marché mais malgré tout délaissées.

De ce fait, une maximisation qui ne porterait que sur l'espérance d'une marge brute totale sélectionnerait systématiquement les productions les plus risquées et ne rendrait pas compte de la réalité observée. Ainsi, le modèle de base doit être nécessairement complété de deux nouveaux ensembles de contraintes : les contraintes de risque et de liquidités. La façon dont sont prises en compte ces contraintes, est développée plus loin au niveau de la présentation du modèle.

La figure 1 montre de quelle manière le modèle de croissance des plantes E.P.I.C. et le modèle de programmation linéaire se complètent au sein du modèle bio-économique.



**Fig 1 : Liaison E.P.I.C. modèle économique**

Les modèles bio-économiques, construits à partir d'E.P.I.C. et d'une maquette de programmation linéaire, présentent donc le grand avantage d'associer à des critères de performance technique tels les pratiques culturales ou les rendements, des critères de performance environnementaux, comme les pertes d'azote, et de les intégrer dans les choix économiques des acteurs.

Par cette approche, on ne donne pas directement une valeur financière à l'environnement, mais on associe à une production agricole, donc à une marge économique, un coût en termes de quantité de pollution nitratée. On peut ainsi connaître les conséquences écologiques de choix économiques et examiner les impacts sur la compétitivité de l'exploitant de décision de réduction de la pollution par les nitrates.

Les modèles tels qu'ils sont construits ici, c'est à dire au moyen d'E.P.I.C. réduisent la prise en compte de l'environnement à l'évaluation des pertes d'azote vers les nappes phréatiques. C'est là une approche partielle de l'influence de l'activité agricole sur le milieu naturel, et il serait souhaitable, à terme, de prendre en considération d'autres externalités tant négatives comme les

résidus de pesticides, que positives comme le modelage des paysages. L'appréhension des interrelations entre l'environnement et les performances économiques n'en serait que plus fine

Cependant, une telle méthodologie permet déjà d'analyser l'impact sur le revenu et sur l'environnement<sup>10</sup> de politiques, telles que la réforme de la P.A.C., qui avouent des objectifs économiques et écologiques et de comparer leur efficacité relative. De plus, il devient également possible de considérer la nature comme une contrainte supplémentaire qui s'impose au producteur, cette contrainte pouvant s'exprimer sous forme soit de seuil de pollution à respecter, soit de coût exprimé par unité de pollution ou redevance. De cette manière, on détermine la valeur économique à donner aux actifs naturels pour que les objectifs d'environnement soient respectés.

Ainsi, pour illustrer ces propos, nous tenterons de répondre aux questions suivantes :

La réforme de la P.A.C. s'est bâtie sur un scénario de baisse des prix de vente et de substitution d'aides directes aux subventions à la production. Ces mesures économiques peuvent-elles avoir des conséquences positives sur le milieu naturel ?

La qualité de la fertilisation azotée contribue pour une part non négligeable à la quantité d'azote perdu par percolation et ruissellement. Quelles peuvent être les conséquences économiques et écologiques de l'optimisation azotée des itinéraires ?

Des incitations réglementaires vont s'imposer en agriculture. Des normes d'émission seront mises en place, des redevances vont être perçues. Quels sont les impacts de tels dispositifs à l'échelle d'une exploitation agricole ?

Ces questions d'arbitrage entre les divers moyens de promouvoir un cadre naturel restauré sont d'importance car elles soulèvent celle du prix à payer pour avoir une agriculture plus respectueuse du milieu naturel. Qui paiera ce prix ? Reviendra-t-il moins cher de payer l'agriculteur pour ne pas mettre en production ses terres (ou au minimum pour l'entretien du paysage) ou faut-il continuer à soutenir une agriculture productive capable de payer les dommages écologiques qu'elle causerait ? La solution n'est-elle pas intermédiaire : favoriser le recours à des techniques plus propres et combler financièrement le manque à gagner pour l'agriculteur ?

Les modèles bio-économiques, qui quantifient les responsabilités des agents et explorent les horizons d'adaptation technico-économiques, peuvent être de précieux auxiliaires pour répondre à ces questions.

Nous nous proposons donc de montrer le détail de la méthodologie et les réponses qu'elle apporte dans le cadre très précis de l'étude des impacts de la réforme de la P.A.C. dans le Haut Pays d'Artois (chapitre III), avant d'élargir l'analyse à six autres petites régions agricoles françaises (chapitre IV), afin de faire un bilan, à la fois, sur la réforme elle-même et sur l'outil bio-économique. Enfin, on expérimentera ce dernier pour évaluer des politiques agricoles plus volontaristes en termes de préservation de l'environnement dans le chapitre V.

---

<sup>10</sup> Via les pertes d'azote et l'érosion pour E.P.I.C.

## **LES MODELES BIO-ECONOMIQUES COMME OUTIL D'ANALYSE ECONOMIQUE : LES IMPACTS DE LA REFORME DE LA P.A.C. DANS LE HAUT PAYS D'ARTOIS**

---

Dans la préface à la proposition de la Commission sur la réforme de la Politique Agricole Commune, Mac Sharry, commissaire à l'agriculture, écrit : "La Commission estime que la seule option viable offerte à la Communauté à long terme, réside dans une politique des prix plus compétitive. Cela permettra de faire face à une concurrence inévitable tant sur le marché intérieur que sur les marchés mondiaux. La réforme de la politique agricole devrait inciter les agriculteurs, par le biais d'un rapport modulé des prix input/output, à recourir à des méthodes de production moins intensives, réduisant ainsi l'impact sur l'environnement et les excédents de production" (MC SHARRY, 1991).

Qu'en est-il de ces objectifs ? Nous nous proposons ici d'utiliser les modèles bio-économiques pour évaluer les impacts de la réforme en termes de performances économiques et de préservation du milieu dans le cadre de la modélisation d'une exploitation agricole du Haut Pays d'Artois .

### **SECTION I : LA REFORME DE LA P.A.C.**

Basée sur le soutien des prix, la Politique Agricole Commune instituée en 1962, a surtout favorisé une augmentation permanente de la production tout en pénalisant la consommation (coût inférieur des produits de substitution étrangers). Cette situation a vite entraîné l'accumulation de stocks coûteux à entretenir et à écouler sur les marchés tiers.

Afin d'enrayer cette spirale, une des mesures mises en place a été les quotas pour le lait en 1984 avec définition d'une référence individuelle et pénalités en cas de dépassement. Puis, en 1986 des stabilisateurs ont été créés sur les marchés du colza et du tournesol avant d'être étendus aux céréales et aux autres productions bénéficiant de prix garantis. Ce système appelé "Quantités Maximales Garanties" fixe des plafonds de production assortis de sanctions en cas de dépassement. Contrairement au lait et au sucre, les quantités maximales et les sanctions s'appliquaient à l'ensemble du secteur.

Cette politique, excessivement coûteuse, s'est pourtant avérée inefficace. En effet, en dépit de l'augmentation constante du budget agricole, le revenu des agriculteurs a continué de baisser. Une réforme en profondeur de la P.A.C. est donc apparue inévitable.

Nous ne présenterons pas ici la totalité du projet proposé par le Commissaire européen MAC SHARRY, mais uniquement les principaux éléments de cette nouvelle P.A.C.

L'idée générale de la réforme du 21 mai 1992 est d'accrocher les soutiens publics à l'agriculture, à l'espace et aux hommes qui produisent et non plus exclusivement aux produits. Cette nouvelle politique a eu pour première application la campagne 93.

## **I.1 CE QUI CHANGE EN 1993 POUR LES GRANDES CULTURES**

L'esprit de la réforme de la Politique Agricole Commune est de se rapprocher du prix du marché mondial. Pour les céréales, la baisse des prix se fera sur 3 ans contrairement aux oléo-protéagineux qui seront soumis aux prix mondiaux dès 92. Cette baisse de prix sera compensée par une aide forfaitaire à l'hectare. La prime ne pourra être obtenue que si l'agriculteur gèle une partie de sa Surface en Céréales et Oléo-Protéagineux (sauf exception : cas des petits producteurs).

### I.1.1 LES CÉRÉALES

#### LES PRIX

Les prix d'intervention qui déterminent le niveau minimal du prix payé au producteur, vont être abaissés en trois paliers : les récoltes 1993, 1994 et 1995 et suivantes.

Par ailleurs, le prix de marché sera plus affecté qu'avant par un marché mondial déprimé. Car le prix de seuil, c'est-à-dire le prix minimum d'entrée des céréales sur le territoire communautaire, sera également réduit.

Les prix d'intervention et de seuil deviennent les mêmes pour toutes les céréales. Le prix d'intervention "toutes céréales" passera de 122,30 F par quintal pour la récolte 1991 à 79 F/q en 1995.

Les majorations mensuelles (primes de stockage) sont maintenues. La taxe de corresponsabilité disparaît.

#### LES PRIMES

La prime à l'hectare de céréales pour la récolte 93 sera calculée à partir du rendement de référence "toutes céréales" pour les départements ou les régions qui ne font pas de distinction maïs ou irrigation. Sinon, lorsqu'une distinction a été demandée, elle est calculée à partir des rendements de référence spécifiques : maïs, autres céréales, cultures irriguées ou cultures sèches.

Pour la récolte 94, elle sera obtenue en multipliant le rendement de référence par 27,62 F/q et à partir de la récolte 95 en multipliant le rendement de référence par 35,53 F/q.

Le rendement de référence maïs sera calculé sur la base 2/3 rendement maïs départemental, 1/3 rendement maïs national (entre 80 et 82 q/ha selon le nombre de départements). Il serait donc revu à la hausse par rapport aux chiffres annoncés. Une base maïs national constituée par les surfaces en maïs sec a été établie. La surface de base n'est pas gérée département par département, mais à l'échelle nationale.

Par contre, la base irrigation est gérée département par département et n'a aucune incidence sur le rendement national.

### I.1.2 LES OLÉO-PROTÉAGINEUX

#### LES PRIX

Les prix officiels sont supprimés (prix minimaux, de seuil, majorations mensuelles, ...). Les tritrateurs et autres transformateurs de protéagineux seront moins incités à utiliser des graines produites dans la C.E.E., car ils ne recevront plus de primes à ce titre.

Les Q.M.G. (Quantités Maximales Garanties) et S.M.G. (Surfaces Maximales Garanties) sont abolies, ainsi que les baisses entraînées par leur dépassement. Les cultures oléagineuses sont, en fait, intégrées dans une superficie globale : la S.C.O.P (Surface en Céréales, Oléagineux, Protéagineux).

#### LES PRIMES

Pour les départements qui obtiennent régulièrement de bons niveaux de rendement en protéagineux, le nouveau règlement est assez intéressant pour les récoltes 93 et 94. Les spécialistes pensent que le prix de marché devrait se situer aux alentours de 110 % de celui des céréales. Or le prix des céréales ne va baisser que progressivement, ce sera sans doute aussi le cas des protéagineux. Contrairement aux céréales dont le montant de la prime augmentera en trois paliers, les primes sur les protéagineux seront dès la récolte 93, à leur plus haut niveau. Pendant deux ans donc, jusqu'à ce que les céréales aient atteint leur niveau de "croisière", les protéagineux présentent un intérêt. Le montant de la prime est calculé de la façon suivante :

$$\text{Prime} = \text{Rendement} \times 51,28 \text{ F/q protéagineux référence}$$

Avec bien entendu la distinction rendements irrigué et sec lorsque le département a opté pour l'irrigation.

Quant aux oléagineux, nous avons trois zones et trois primes. Le colza, le tournesol et le soja qui seront récoltés en 1993 auront le même règlement qu'en 1992. Les primes à l'hectare seront établies d'après une moyenne européenne (359 ECU/ha pour 1993, soit 2 835 F/ha) et pondérées par les rendements céréaliers de la zone concernée. Pour le calcul des primes 1993, ces derniers comportent une fraction nationale (59,6 q/ha pour 1/3) et une fraction propre à la zone (pour 2/3).

Rappelons que les primes attribuées au titre de la récolte 1992 ont été fixées à 4 020 F/ha en zone 1 et 2, 3 565 F/ha et 2 425 F/ha en zone 3. L'état actuel du marché laisse supposer que ces primes seront augmentées.

Les primes versées aux hectares d'oléagineux et de protéagineux compenseront partiellement les baisses des prix dues à la suppression des règles de marché. Les prix de marché peuvent tomber très bas pour les oléagineux (95 F/ql est possible) ; auquel cas, la prime à l'hectare est réévaluée.

### I.1.3 LA JACHÈRE

#### 15 % DES SURFACES CÉRÉALES ET OLÉO-PROTÉAGINEUX

Pour bénéficier des aides compensatoires au titre de sa prochaine récolte, l'exploitant doit mettre en jachère 15 % de sa surface C.O.P. (Céréales, Oléagineux, Protéagineux).

#### LE MONTANT DE LA PRIME

La prime par hectare gelée sera égale au rendement de référence du département ou de la région de référence où se situe l'exploitation, multipliée par 355,3 F/t. Cette prime devrait varier de 1 775 F à 2 575 F selon les régions. Cette aide initiale a été majorée en 1994 de 300 F pour la campagne 94 et suivantes. Cette adaptation fait suite aux modifications des contraintes d'entretien de la jachère : la jachère nue est désormais interdite.

#### LA JACHÈRE TOURNANTE OU LE GEL FIXE ?

Si l'agriculteur retient la formule jachère tournante, les terres qui seront mises en jachère ne pourront revenir en jachère pendant les cinq années qui suivent, donc pendant six ans. Cela signifie qu'au bout de la sixième année 90 % (6 X 15 %) de la surface en céréales oléo-protéagineux d'une exploitation seront passés une fois en jachère.

L'agriculteur pourra aussi opter pour le gel fixe. Mais les modalités du gel fixe n'ont été définies qu'en 1994. L'agriculteur qui opte pour le gel fixe doit geler 5 % de plus, ce qui porte à 20 % le gel total. De plus, il s'engage à geler les mêmes parcelles pendant 60 mois. Le pourcentage supplémentaire est indemnisé de la même façon que les 15 premiers pour cent.

#### LES PRODUCTEURS DE MOINS DE 92 TONNES

Les agriculteurs dont la production théorique est inférieure à 92 t ne sont pas obligés de geler. Cette production théorique est calculée en multipliant les surfaces en céréales, oléo-protéagineux de l'exploitation par le rendement de référence "toutes céréales". Elle correspond à un rendement de référence départemental de 60 q sur 15,33 ha.

En revanche, le petit producteur ne pourra pas bénéficier des primes de compensation sur les protéagineux et sur les oléagineux.

La prime à l'hectare de terres en jachère compensera très partiellement le manque à gagner correspondant.

### LA JACHÈRE INDUSTRIELLE

La Commission autorise, dès 1992, la culture de la jachère à des fins industrielles à une seule condition : l'agriculteur, ou la coopérative, doit posséder un contrat avec un industriel qui s'engage à transformer la matière première pour des fins non alimentaires.

Les produits finaux pouvant être considérés comme des destinations autorisées sont notamment :

- les graisses végétales et animales destinées à d'autres fins que la consommation humaine ou animale ;
- les alcools destinés à être utilisés dans les carburants, directement ou après transformation ;
- certains produits agricoles et leurs dérivés issus d'un processus de transformation intermédiaire destinés à être brûlés dans les centrales pour la production d'énergie.

Sont exclus notamment les produits figurant dans les règlements concernant les régimes du sucre et de l'amidon.

## **I.2 ELEVAGE : DES PRIMES EN RELATION AVEC LE CHARGEMENT**

Les primes viandes ont été mises en place pour compenser une baisse des prix de la viande de 15 %. La réforme de la P.A.C. a introduit une notion de chargement au niveau de la surface fourragère. Le chargement de l'exploitation par rapport aux seuils permet l'obtention ou non de quatre types de primes.

### I.2.1 LE CALCUL DU CHARGEMENT

chargement =  $\frac{\text{nombre d'U.G.B.}^1 \text{ prises en compte}}{\text{Ha de "surfaces fourragères"}}$

Les surfaces fourragères sont celles déclarées pour les aides compensatoires :

- prairies permanentes ;
- prairies temporaires ;
- cultures fourragères ;

---

<sup>1</sup> Unité Gros Bovins

**Tableau 1**  
Conversion des animaux en U.G.B. P.A.C.

U.G.B. à prendre en compte (chargement P.A.C.)	
Animaux	Coefficient
Vaches allaitantes	1
Bovins mâles + 2 ans	1
Bovins mâles de 8 mois à 2 ans	0,6

Source : "Dossier P.A.C." Syndicat Agricole 10.12.93

### I.2.2. LES PRIMES EUROPÉENNES

Quel que soit le type de primes européennes touchées, le chargement P.A.C. calculé doit être inférieur au seuil de chargement du tableau ci-dessous. Au-delà de ce chargement, l'exploitation est exclue de tous les systèmes d'aides directes, sauf si celle-ci possède moins de 15 U.G.B.

**Tableau 2**  
Seuil de chargement pour l'obtention des primes européennes

Année	Seuil de chargement
93	3,5 U.G.B./ha
94	3 U.G.B./ha
95	2,5 U.G.B./ha

Source : "Dossier P.A.C." Syndicat Agricole 10.12.93

Lorsque le chargement se situe en deçà du seuil, deux types de primes peuvent être perçues par l'éleveur :

- la prime vaches allaitantes ;
- la prime aux bovins mâles.

Les montants des primes versées sont exprimées dans le tableau ci-dessous

**Tableau 3**  
Montant des primes Vaches Allaitantes et Bovins Mâles

Année	Prime vaches allaitantes		Prime bovins mâles plafond de 90
	les 40 premières	les suivantes	
93	750	592	473
94	947	789	592
95	1144	986	710

Source : "Dossier P.A.C." Syndicat Agricole 10.12.93

NB : La prime bovins mâles peut être touchée une première fois lorsque l'animal est âgé de 8 à 20 mois et une deuxième fois quand il a plus de 23 mois.

Les primes vaches allaitantes sont attribuées selon une référence individuelle qui est basée sur le nombre d'animaux présents en 1992. Toutefois, une augmentation de la référence peut être obtenue auprès de la DDAF (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt). Au contraire, la référence prime bovins mâles est nationale mais plafonnée à 90 animaux par exploitation.

Ces deux primes peuvent être majorées de la prime extensification pour les exploitations dont le chargement est inférieur à 1,4 U.G.B./ha. Ce complément s'élève à 236 F par animal primable.

### I.2.3 LA PRIME À L'HERBE

Cette prime nationale peut être touchée dans deux conditions :

- Si la SFP (Surface Fourragère Principale) représente plus de 75 % de la S.A.U., le chargement herbe doit être inférieur à 1,4 U.G.B./ha ;
- Si la SFP représente moins de 75 % de la S.A.U., le chargement herbe doit être inférieur à 1 U.G.B./ha.

Le calcul du chargement herbe prend en compte les U.G.B. herbe différentess des U.G.B. P.A.C. (cf. tableau 4) et la surface herbe (prairies permanentes et temporaires).

Tableau 4  
Conversion des animaux en U.G.B. Herbe

U.G.B. à prendre en compte (chargement Herbe)	
ANIMAUX	Coefficient
Vaches allaitantes	1
Génisses + 2 ans	1
Génisses de 8 mois à 2 ans	0,6
Bovins mâles + 2 ans	1
Bovins mâles de 8 mois à 2 ans	0,6

Source : "Dossier PAC" Syndicat Agricole 10.12.93

La prime herbe est une aide forfaitaire à l'hectare de prairie. Les montants de cette prime sont indiqués dans le tableau 5 ci-dessous :

Tableau 5  
Montant de la prime Herbe

Année	Prime Herbe (F/ha)
93	200
94	250
95	300

Source : "Dossier Mode P.A.C. d'emploi".  
Cultivar du 1 au 15.10.92

### I.3 LES IMPACTS ATTENDUS DE LA REFORME DE LA POLITIQUE AGRICOLE COMMUNE

Le revenu des céréaliers aura tendance à diminuer après la réforme d'autant plus qu'ils exploitent des surfaces, obtiennent des résultats supérieurs à la moyenne et appartiennent à une région hétérogène (JACQUET, 1993). Le rendement de l'exploitation peut être supérieur au rendement de référence base du calcul de la prime. Dans ce cas, la prime ne compense que partiellement la baisse de prix.

Les conséquences de la réforme en termes de revenu devraient être neutres ou positives pour les élevages laitiers intensifs et les systèmes naissance-engraissement, par contre elles seront très vraisemblablement négatives pour les élevages mixtes lait-viande et la production laitière herbagère.

Les aides à caractère forfaitaire liées aux surfaces cultivées et les aides en vue de réserver l'environnement peuvent permettre une réduction significative des intrants nécessaires à la conduite d'une culture tout en préservant un niveau satisfaisant de rendement (VERMERSCH, BOUSSEMART, DERVAUX, PIOT, 1992).

Cependant les résultats obtenus ne sont que partiels pour engager une extensification générale (JACQUET, 1993). Enfin, les habitudes en termes d'itinéraires techniques constituent un frein certain au passage à l'extensification.

En termes de dépenses, le montant des aides compensatoires et des mesures d'accompagnement devrait à court terme dépasser les économies réalisées (baisse des restitutions et des coûts de stockage). Or la Commission a défini des budgets de 35 milliards d'ECU pour 1992 et 38 milliards pour 1997, et les paiements compensatoires pourraient représenter les premières économies à réaliser en cas de dépassement budgétaire.

Quels vont donc être les impacts réels de la réforme en termes de revenu ? La réforme aura-t-elle un effet significatif sur l'adoption de techniques plus extensives ? Quelles seront les conséquences sur la protection de l'environnement, et notamment la contamination des nappes phréatiques par les nitrates ?

Le Haut Pays d'Artois, région essentiellement rurale, orientée vers les céréales et la production de lait est directement concernée par la réforme. Elle nous servira de première région d'étude pour laquelle nous détaillerons très précisément les différentes étapes de la modélisation bio-économique.

## SECTION II : MONOGRAPHIE DU HAUT PAYS D'ARTOIS

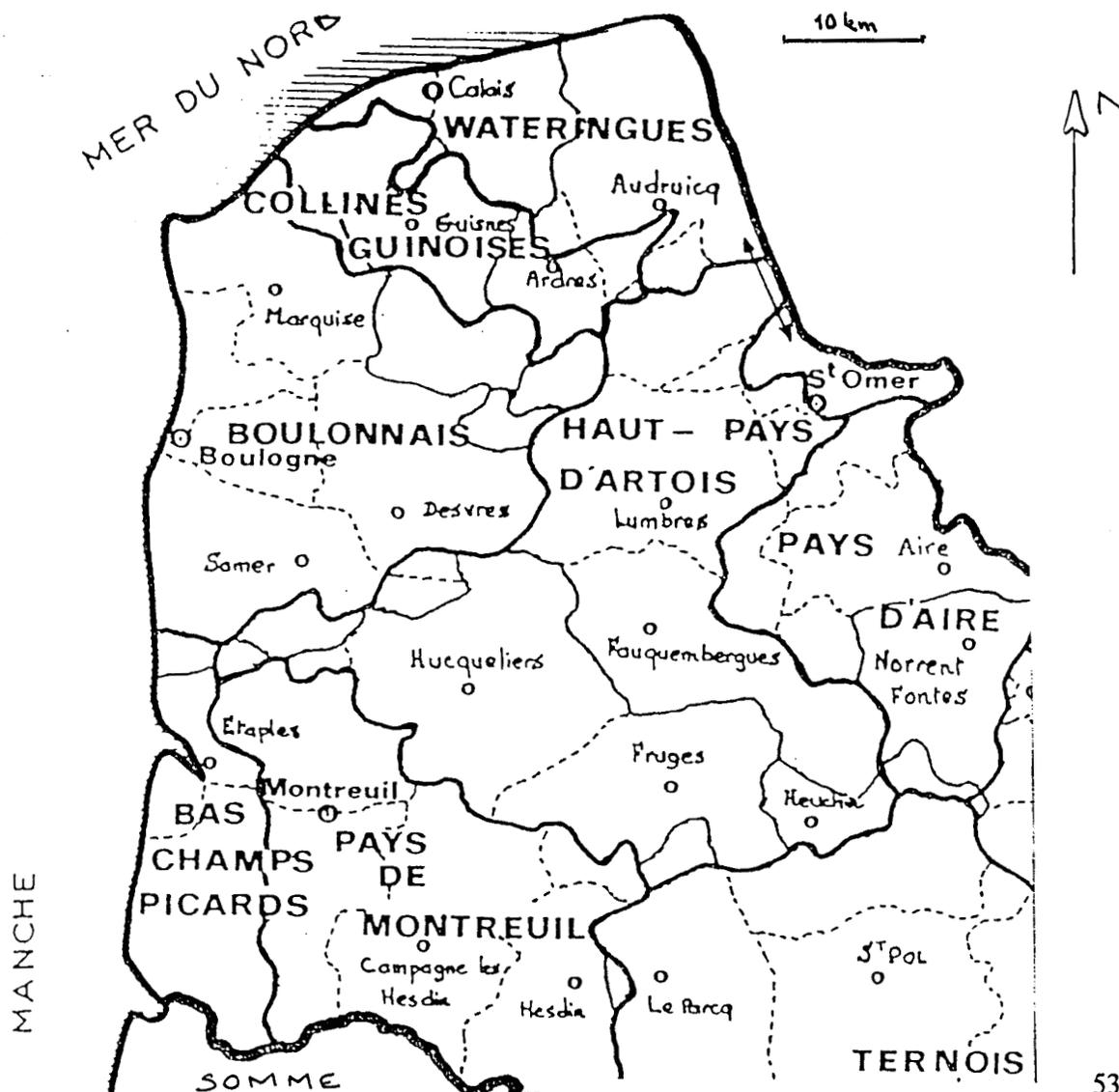
### II.1 LES CONDITIONS NATURELLES

#### II.1.1 LES CONDITIONS PÉDO-CLIMATIQUES

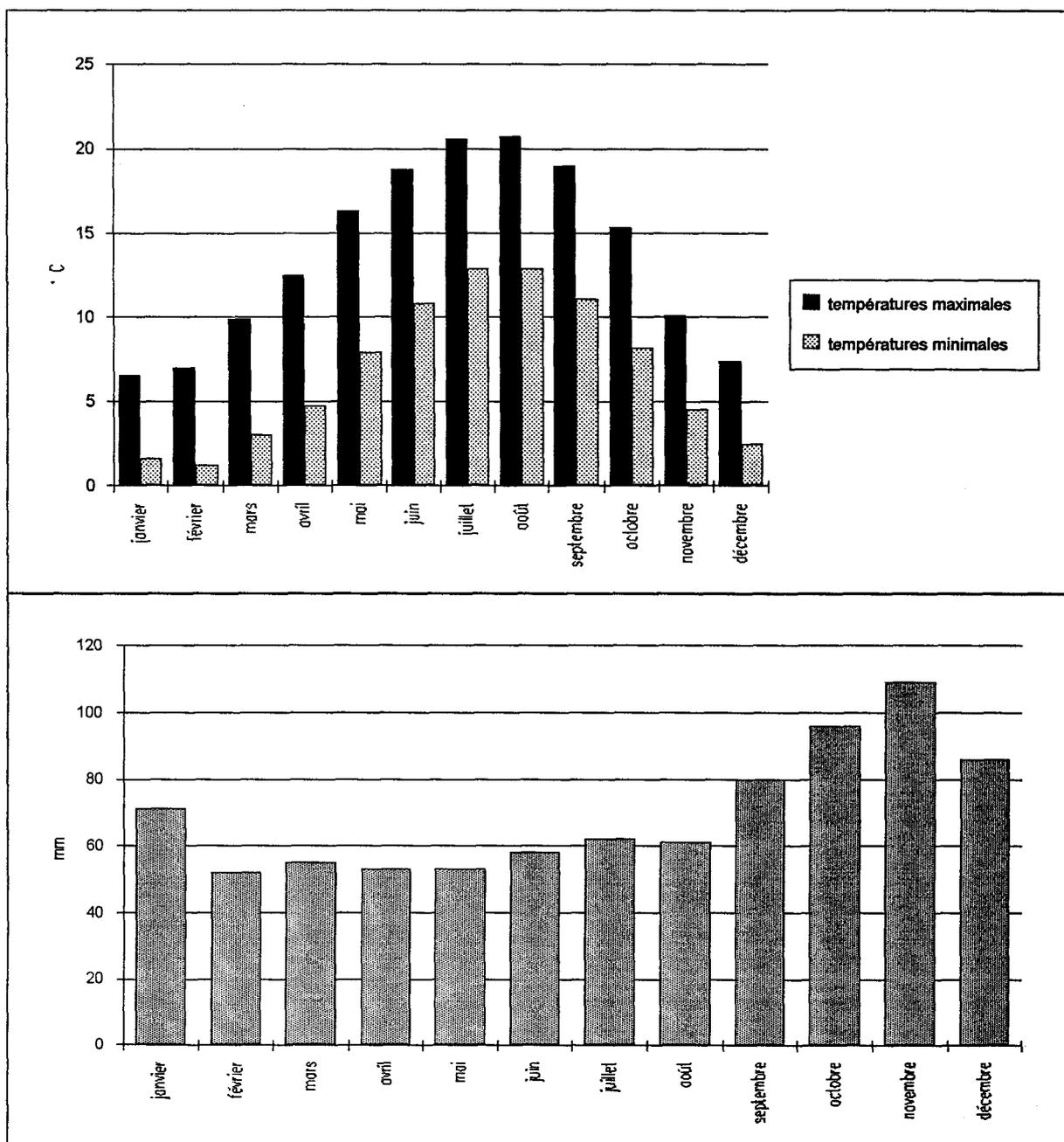
La petite région agricole du Haut Pays d'Artois se situe au Nord-Ouest du Pas-de-Calais. Les régions qui l'entourent sont les Wateringues au Nord, le Boulonnais à l'Ouest, le Pays de Montreuil et le Ternois au Sud et le Pays d'Aire à l'Est.

L'altitude, le relief et l'isolement sont les traits caractéristiques de la région. Le Haut Pays fait suite au bombement de l'Artois et se termine à l'ouest en lisière de la dépression du Boulonnais. Il appartient à un domaine de plateaux de craie du crétacé. L'argile s'intercale souvent entre la craie et la chape limoneuse, retenant l'humidité et retardant le ressuyage des sols. Sur les plateaux les plus élevés, frappés par les vents de mer, les températures sont plus fraîches et les précipitations plus importantes que la moyenne départementale. Le réseau hydrographique est constitué de cours d'eau aux débits modestes : l'Aa qui se jette dans la mer du Nord, la Lys affluent de l'Escaut, la Course, affluent de la Canche.

Carte 1 : Le Haut Pays d'Artois



Graphique n°1 : les températures (°C) et les précipitations (mm) dans le Haut Pays d'Artois (moyennes sur la période 1956-1993)



Source : Météorologie Nationale

### II.1.2. LES RÉSERVES EN EAU

L'alimentation en eau de la population du bassin Artois-Picardie<sup>2</sup> est principalement assurée par les réserves souterraines. En 1988, 322 millions de m<sup>3</sup> d'eau potable ont été prélevés dans les

<sup>2</sup> Le bassin Artois-Picardie est le plus modeste des six grands bassins hydrographiques français définis par la loi sur l'eau de 1964. D'une superficie d'environ 20 000 km<sup>2</sup>, le bassin couvre trois départements en totalité : le Nord, le Pas-de-Calais et la Somme, ainsi qu'une partie de l'Aisne (région de Saint-Quentin et ouest de la Thiérache). Il regroupe 4,7 millions d'habitants (250 au km<sup>2</sup>) surtout concentrés dans les agglomérations de Lille-Roubaix-Tourcoing (1 million d'habitants), Dunkerque, et dans des zones continues à forte urbanisation correspondant à l'ancien bassin minier (380 habitants au km<sup>2</sup>) (Agence de l'eau Artois-Picardie, 1990b).

nappes pour les réseaux d'alimentation, 153 millions de m<sup>3</sup> pour l'usage industriel. L'alimentation des rivières et des nappes phréatiques est assurée par la pluie dite efficace<sup>3</sup>. Le volume annuel moyen de cette pluie efficace est de 4 milliards de m<sup>3</sup>, avec des minima de moins d'un milliard de m<sup>3</sup>. S'il semble que les ressources couvrent largement les besoins (650 millions de m<sup>3</sup> <sup>4</sup>), la situation est cependant préoccupante sur plusieurs points (Agence de l'eau Artois-Picardie, 1990b). En effet, les zones aquifères exploitables par des forages productifs sont en fait peu étendues : on ne les trouve que dans les vallées et en limite de recouvrement de la craie par l'argile. Ces zones représentent moins du tiers de la surface du bassin. De plus, l'évolution préoccupante de la pollution des eaux souterraines restreint aujourd'hui de façon sensible les volumes potentiellement prélevables notamment pour des besoins domestiques. En conclusion, la marge existante entre les prélèvements actuels et la ressource disponible serait faible, de l'ordre de 10 à 20 % des prélèvements actuels en moyenne, mais avec des disparités géographiques considérables. Cette marge est nulle, par exemple, pour le secteur de Moulle, champ captant situé au nord-est du Haut Pays d'Artois et alimentant la région de Dunkerque en eau potable<sup>5</sup>.

Les eaux souterraines du bassin Artois-Picardie sont toutes potables du point de vue bactériologique. En ce qui concerne les nitrates, l'évolution des teneurs est préoccupante : sur les 1300 forages du bassin, près de la moitié capte une eau en cours de contamination à plus de 35 mg/l, 12 % d'entre eux sont à plus de 50 mg/l et 1,5 % dépassent 100 mg/l. Deux zones sont particulièrement touchées. La première, plutôt urbaine et industrielle, correspond à la région lilloise et au bassin minier. La seconde est la zone arrageoise et cambrésienne, plutôt rurale. Les teneurs en nitrates relevées au niveau de la zone de captage de Moulle, sont de l'ordre de 25 mg par litre, dont 10 peuvent être considérés d'origine naturelle et 15 attribuables aux activités agricoles et urbaines<sup>6</sup>. Ces teneurs, inférieures au seuil de potabilité, ne cessent d'augmenter. L'excès d'épandage des engrais, leur mauvais fractionnement et des pratiques culturelles parfois inadaptées participent à renforcer la présence des nitrates dans les nappes dans une zone naturellement vulnérable du fait de la profondeur du toit de la nappe, de la présence de lieux d'infiltration rapide et de l'épaisseur et de la nature du recouvrement au-dessus de la craie.

L'agence de bassin consciente que "les remèdes mis en oeuvre jusqu'à présent<sup>7</sup> tels que la création d'adductions de substitution en provenance de zones moins menacées ou des "interconnexions de sécurité", ne sont en fait que des solutions à court et moyen termes", fonde la fiabilité à long terme d'un approvisionnement en eau potable satisfaisant sur deux types d'actions : le contrôle et l'élimination des pollutions et la préservation des secteurs non encore contaminés. La mise en oeuvre de ces principes passe par la lutte contre la pollution urbaine, domestique, industrielle mais aussi agricole, nouveau domaine d'investigation.

---

<sup>3</sup> Ce qui reste après évapotranspiration.

<sup>4</sup> 475 millions de m<sup>3</sup> prélevés dans les nappes plus 157 millions de m<sup>3</sup> prélevés dans les cours d'eau.

<sup>5</sup> Ce champ captant fait partie d'une zone aquifère comprenant sept nappes principales situées dans la région de Saint-Omer. Cinq d'entre elles sont qualifiées d'irremplaçables de par l'importance des volumes prélevés, la possibilités d'assurer la qualité de leur eau grâce à des méthodes classiques (assainissement urbain...) et le coût très élevé des solutions de substitution.

<sup>6</sup> Dire d'expert : professeur H Maillot, hydrogéologue.

<sup>7</sup> En 1990.

## II.2 LES EXPLOITATIONS DU HAUT PAYS D'ARTOIS

### II.2.1 LES EFFECTIFS ET LES SURFACES EXPLOITÉES

La baisse du nombre d'exploitations (- 38 % depuis 1970), en dépit de l'effrètement de la Surface Agricole Utile qui perd moins de 6 % sur 18 ans, entraîne une hausse de la taille moyenne : plus 53 % de 1970 à 1988. Comme pour l'Artois, il faut noter le léger ralentissement de cette évolution. De même, la progression de la S.A.U. moyenne par exploitation s'infléchit depuis 27 %, entre 1979 et 1970, jusqu'à 21 % entre 1988 et 1979.

Tableau 1  
Evolution du nombre d'exploitations et de la S.A.U.

	1970	1979	1988	79-70	88-79
S.A.U. (en hectares)	82 579	80 998	78 013	- 2 %	- 4 %
nombre d'exploitations	4 530	3 511	2 793	- 22 %	- 20 %
taille moyenne (en ha)	18,2	23,1	27,9	+ 27 %	+ 21 %

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

L'évolution de la structure de l'effectif des exploitations agricoles tend vers une disparition certaine des petites unités malgré leur part relativement importante dans la S.A.U. totale (à peu près 28 % pour les exploitations de moins de 30 ha). Tandis que les exploitations de taille moyenne (entre 30 et 70 ha) subsistent à hauteur de 51 %, les 70-200 ha représentent une surface en hausse de 44 %, soit une variation dans l'absolu de plus de 4 600 ha.

La S.A.U. totale des plus de 200 ha a, quant à elle, doublé de 1979 à 1988, passant de 422 à 845 ha.

Tableau 2  
Evolution de la surface des classes de superficie

Superficie	S.A.U. en ha				
	1970	1979	1988	79-70	88-79
0 - 15 Ha	14 573	8 781	5 589	- 40 %	- 36 %
15 - 30 Ha	30 394	24 928	16 423	- 18 %	- 34 %
30 - 50 Ha	20 023	24 423	24 668	+ 22 %	+ 1 %
50 - 100 Ha	14 399	18 154	24 248	+ 26 %	+ 34 %
> 100 Ha	4 216	4 712	7 086	+ 12 %	+ 50 %

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

Evolution de la surface selon la taille

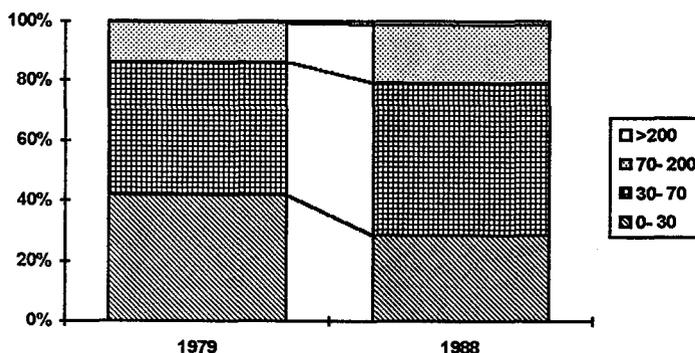


Fig. 1

Les petites exploitations, ci-dessus représentées par les deux premières classes (les moins de 30 hectares), font les frais d'une tendance à la hausse de la taille moyenne. Les exploitations dont la S.A.U. est supérieure à 50 hectares sont plus nombreuses avec une progression de plus de 31 %.

Tableau 3  
Part de la surface dans la S.A.U. totale

Superficie	Part dans la S.A.U. totale		
	1970	1979	1988
0 - 15 Ha	17	11	7
15 - 30 Ha	36	31	21
30 - 50 Ha	24	30	32
50 - 100 Ha	17	22	31
> 100 Ha	5	6	9

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

Tableau 4  
Evolution du nombre d'exploitations selon leur surface

Superficie	Effectifs			Evolution	
	1970	1979	1988	79-70	88-79
0 - 15 Ha	2 360	1 423	1 004	- 40 %	- 29 %
15 - 30 Ha	1 390	1 120	724	- 19 %	- 35 %
30 - 50 Ha	526	648	640	+ 23 %	- 1 %
50 - 100 Ha	222	284	371	+ 28 %	+ 31 %
> 100 Ha	32	36	54	+ 13 %	+ 50 %
	4 530	3 511	2 793	- 22 %	- 20 %

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

Tableau 5  
Effectifs des classes de superficie dans l'effectif total

Superficie	Exploitations		
	1970	1979	1988
0 - 15 Ha	52	41	36
15 - 30 Ha	31	32	26
30 - 50 Ha	12	18	23
50 - 100 Ha	5	8	13
> 100 Ha	1	1	2

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

## II.2.2. LA MAIN-D'OEUVRE

Parmi les différentes catégories de main-d'oeuvre, l'effectif des salariés permanents est le plus durement touché : il est amputé de 70 % en 18 ans. A l'origine de cet effondrement se trouve, pour une large part, la mécanisation croissante. On remarque néanmoins un net ralentissement

de cette baisse. Le même phénomène, dans une moindre proportion (moins 5 points), est observable pour la population familiale active.

De ce fait, la part de la main-d'oeuvre familiale dans la main-d'oeuvre totale s'accroît : 94 % en 1970, 96 % en 1979 et 97 % en 1988.

Tableau 6  
Structure de la main-d'oeuvre

Catégories	Effectifs				
	1970	1979	1988	79-70	88-79
familiale	11 061	7 437	5 372	- 33 %	- 28 %
salariés permanents	646	273	191	- 58 %	- 30 %
Total	11 707	7 710	5 563	- 34 %	- 28 %

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

Conséquence de la mécanisation, le nombre d'Unité de Travail Annuel par exploitation passe de 1,64 en 1979 à 1,49 en 1988 soit de 3 607 heures à 3 284, ce qui représente une baisse de 9 %. La main-d'oeuvre familiale assure 93 % des heures de travail soit 3 062 heures par exploitation en 1988.

Tableau 7  
Structure de la main-d'oeuvre en U.T.A.

Catégories	U.T.A.		
	1979	1988	évolution
familiale	5 347	3 887	- 27 %
salariés permanents	215	138	- 36 %
salariés saisonniers	161	119	- 26 %
Total	5 725	4 144	- 27 %

Source : Recensements Agricoles 1979 et 1988

### II.2.3 L'ÉQUIPEMENT

Sur les vingt dernières années, le parc de tracteurs s'accroît de 20 % tandis que la puissance moyenne augmente grâce à la division par 5 de l'effectif des moins de 35 cv et à la multiplication par 3 de l'effectif des plus de 110 cv. De 1970 à 1988, le parc des 35-109 cv gagne 79 %.

Tableau 8  
Répartition des tracteurs par puissance

puissance	Effectif			Evolution	
	1970	1979	1988	79-70	88-79
moins de 35 cv	1 439	625	293	- 57 %	- 53 %
entre 35 et 109 cv	2 287	3 711	4 090	+ 64 %	+ 10 %
110 cv et plus		29	93		+ 221 %
Total	3 726	4 365	4 476	+ 17 %	+ 3 %

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

**Tableau 9**  
Répartition des tracteurs par exploitation

Puissance	1970	1979	1988
moins de 35 cv	0,32	0,18	0,10
entre 35 et 109 cv	0,50	1,06	1,46
plus de 110 cv		0,01	0,03
Total	0,82	1,24	1,60

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

Alors que le nombre de moissonneuses-batteuses représente seulement, en 1970, le tiers du parc de l'Artois, l'effectif s'accroît régulièrement ainsi que l'équipement moyen. La baisse simultanée du nombre d'exploitations explique cette progression.

**Tableau 10**  
Répartition des moissonneuses-batteuses

	1970	1979	1988	79-70	88-79
parc	471	557	648	+ 18 %	+ 16 %
par exploitation	0,10	0,16	0,23	+ 53 %	+ 46 %

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

#### II.2.4 LE FONCIER

La baisse de la superficie exploitée en faire-valoir direct s'accroît. En 1988, 27 % de la S.A.U. est la propriété des exploitants.

**Tableau 11**  
Part des surfaces exploitées en faire-valoir direct

	1970	1979	1988	79-70	88-79
ha en faire-valoir direct	23 347	22 858	20 674	- 2 %	- 10 %
par rapport à la S.A.U.	28 %	28 %	27 %	=	- 6 %

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

Le prix des terres diminue : moins 5 % sur quatre ans alors que, pour le Pas-de-Calais, la hausse est d'un peu moins de 2 %, soit une différence de 7 points. De plus, cette évolution est à comparer avec la différence entre le prix des terres dans le Haut Pays d'Artois et celles du département : en 1991, l'hectare de terre labourable coûte 15 % moins cher dans la petite région tandis que le prix de l'hectare de prairie y est sensiblement identique. Ces disparités s'expliquent principalement par la dominance des élevages qui nécessitent moins de terres que les grandes cultures et par le relatif enclavement du Haut Pays d'Artois.

**Tableau 12**  
Le prix de la terre (en F/ha)

	1989	1990	1991	1992
terres labourables libres	25 000	24 000	24 000	23 500
prairies naturelles libres	25 000	26 000	26 000	24 000

Source : AGRESTE - enquêtes valeur vénale des terres

## II.2.5 LES ACTIVITÉS DE PRODUCTION ET L'UTILISATION DU SOL

Les exploitations de la région agricole sont mieux réparties entre les différentes orientations technico-économiques que celles de l'Artois avec, toutefois, une nette dominance de l'élevage qui se retrouve dans les trois premières O.T.E.X. (Orientation Technico-Economique d'Exploitation)

Tableau 13  
Orientations technico-économiques

O.T.E.X.	%
grandes cultures et herbivores	28
bovins lait	17
polyélevage herbivores	15
céréales	8
ovins, caprins et autres herbivores	7
céréales et autres grandes cultures	7
polyculture	5
bovins lait, élevage et viande	5
Total	92

classification selon la Marge Brute Standard  
Source : Recensement Agricole 1988

### II.2.5.1 L'élevage

Conséquence de la mise en place de quotas laitiers en 1984, le cheptel de vaches laitières perd 12 %. Certains éleveurs se sont tournés vers la filière viande (cf. l'augmentation du cheptel de vaches nourricières).

Tableau 14  
Effectif des cheptels et évolution

Cheptels	Effectif			Evolution	
	1970	1979	1988	79-70	88-79
bovins	88 165	101 906	100 344	+ 16 %	- 2 %
vaches laitières	37 140	42 917	37 653	+ 16 %	- 12 %
vaches nourricières	435	1 954	4 296	+ 349 %	+ 120 %
porcins	151 125	109 530	87 517	- 28 %	- 20 %
truies mères	16 615	15 505	9 723	- 7 %	- 37 %
brebis mères	7 297	10 147	7 558	+ 39 %	- 26 %
volailles	261 626	159 297	273 040	- 39 %	+ 71 %

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

Tableau 15  
Répartition des cheptels par exploitations

Cheptels	Nombre d'exploitations		
	1979	1988	évolution
vaches laitières	2 542	1 586	- 38 %
vaches nourrices	280	502	+ 79 %
bovins	2 888	2 148	- 26 %
ovins	493	370	- 25 %
porcs	2 101	968	- 54 %
volailles	3 511	2 793	- 20 %

Source : Recensements Agricoles 1979 et 1988

Tableau 16  
Répartition des cheptels par exploitations (en %)

Cheptel	Exploitations (en %)	
	1979	1988
vaches laitières	72	57
vaches nourrices	8	18
bovins	82	77
ovins	14	13
porcs	60	35
volailles	100	100

Source : Recensements Agricoles 1979 et 1988

Le tableau suivant montre la spécialisation de fermes dans l'élevage. Si les effectifs de tous les cheptels, sauf ceux des vaches nourrices et des volailles, diminuent, la réduction encore plus forte des exploitations pratiquant l'élevage aboutit à d'importantes hausses des effectifs moyens (mis à part celui des ovins).

Tableau 17  
Evolution du cheptel par exploitation faisant de l'élevage

Cheptels	1979	1988	Evolution
vaches laitières	17	24	+ 41 %
bovins	35	47	+ 32 %
ovins	37	28	- 23 %
porcins	52	90	+ 73 %
poules pondeuses	26	42	+ 59 %
poulets de chair et coqs	24	118	+ 383 %

Source : Recensements Agricoles 1979 et 1988

Les chiffres sont le résultat du rapport de l'effectif du cheptel concerné sur le nombre d'exploitations pratiquant cet élevage.

### II.2.5.2 Les cultures

De 1970 à 1979, plusieurs évolutions marquent la répartition de la surface agricole : le blé tendre et les cultures fourragères gagnent respectivement 6 et 5 points tandis que, dans le même temps, l'orge en perd 4.

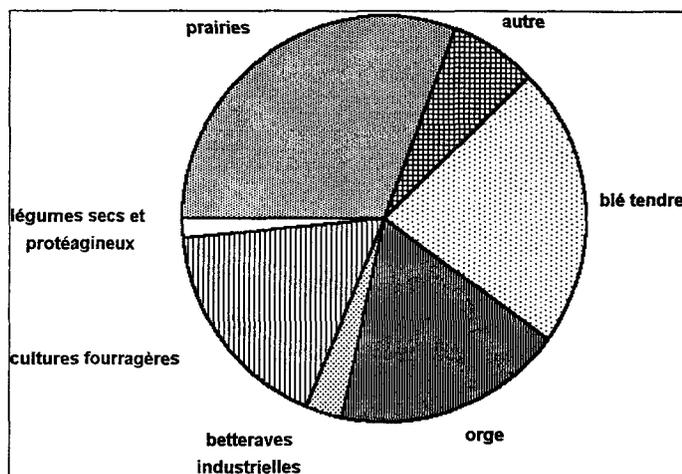
De 1979 à 1988 l'ajout de 5 points à la surface de blé se fait au détriment des prairies qui perdent plus de 3 000 hectares.

Tableau 18  
Surface des emblavements et part dans la S.A.U.

Cultures principales	1970		1979		1988	
	hectares	part	hectares	part	hectares	part
blé tendre	9 729	12	14 631	18	17 650	23
orge	18 017	22	14 653	18	14 398	18
autres céréales	9 418	11	6 243	8	2 590	3
colza	83	0,1	123	0,2	631	1
betterave sucrière	2 293	3	2 804	3	2 257	3
cultures fourragères	9 006	11	12 809	16	13 501	17
prairies	27 101	33	27 163	34	23 814	31
pomme de terre	697	1	384	0,5	336	0,4
légumes frais	523	1	955	1	591	1

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979 et 1988

Fig.2  
Les principales cultures en 1988 (en part de S.A.U.)



### II.2.6 L'EXPLOITATION DOMINANTE ET DÉFINITION DE L'EXPLOITATION DE RÉFÉRENCE

#### II.2.6.1 L'activité

Un échantillon représentatif des exploitations du Haut Pays d'Artois comprenant 220 individus suivis de 1990 à 1992 et recueilli auprès d'un des principaux centres de gestion de la région a permis de déterminer au sein des exploitations dominantes (en termes de S.A.U.) l'exploitation réelle qui sera modélisée. Ainsi le quart supérieur des exploitations couvre 39 % de la S.A.U.

du groupe en 1991 et 1992. Dans ce groupe des exploitations dominantes, les producteurs de betteraves représentent 61 % des exploitations, et dégagent 63 % du revenu agricole en 1991 et 58 % en 1992, et 76 % et 58 % du chiffre d'affaire.

En fonction de ces critères, l'exploitation réelle retenue comme exploitation de référence, présente les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques	Groupe exploitations dominantes	exploitations dominantes betteravières	Exploitation réelle modélisée
S.A.U.	107 Ha	109 Ha	90 Ha
Céréales hiver	45 %	46 %	37 %
Colza	8 %	10 %	11 %
Betteraves sucrières	5 %	9 %	10 %
Surfaces fourragères	40 %	32 %	42 %

\* Chiffres 1991

L'emblavement de l'exploitation modélisée est sensiblement moins orienté vers les céréales d'hiver, même si celles-ci demeurent majoritaires. Les surfaces fourragères compensent principalement cet écart.

Concernant le cheptel, on peut résumer la situation de l'exploitation retenue par rapport aux exploitations laitières du Haut Pays dans le tableau suivant :

	Echantillon Centre de Gestion		
	Quart supérieur	Moyenne	Exploitation
Effectif moyen vaches laitières	49	40	30
Litre de lait /VL/an	5 971	5 762	5 500
Nombre de VL/Ha SFP	1,04	1,02	1,20

Chiffres 1991

#### II.2.6.2 La main-d'oeuvre

	Echantillon Centre de Gestion		
	Quart supérieur	Moyenne	Exploitation
UTH <sup>8</sup> / exploitation	2,5	1,8	1,5
Ha de S.A.U./UTH	67	40	56

Chiffres 1991

Suite au choix de l'exploitation, nous allons procéder à la modélisation de ses environnements agronomique et économique.

L'objectif de la modélisation agronomique est de produire, au moyen d'E.P.I.C., une série d'itinéraires culturels réalistes, plus ou moins intensifs, qui représentent l'horizon d'adaptation technique de l'exploitant à la réforme de la P.A.C. On définit, ainsi, pour chaque culture rencontrée sur l'exploitation, des niveaux de production différents. Chacun de ceux-ci étant lui-même relié à un niveau de pollution, en l'occurrence des quantités de nitrates perdus. Dans la

<sup>8</sup> Unité de Travail Humain qui correspond à un équivalent-homme -temps plein.

pratique la démarche consiste d'abord à calibrer E.P.I.C., c'est à dire, à ajuster les paramètres du modèle aux conditions naturelles et agronomique de la région d'étude sur la base d'une comparaison des résultats calculés par E.P.I.C. et observés dans la réalité. On peut alors élaborer des itinéraires alternatifs qui constitueront la matrice technologique.

Cette matrice est ensuite reprise à l'échelle du modèle économique. Celui-ci consiste en une représentation fine des différentes contraintes technico-économiques auxquelles se trouve confronté l'exploitant agricole, l'hypothèse de base étant que celui-ci cherche à maximiser une utilité espérée.

### **SECTION III : LA MODELISATION AGRONOMIQUE DE L'EXPLOITATION**

#### **III.1 CONTEXTE DE L'UTILISATION D'E.P.I.C.**

La modélisation fine de l'univers technique (c'est-à-dire des techniques de production) au moyen du simulateur agronomique, à l'échelle d'une exploitation représentative du Haut Pays d'Artois, repose sur plusieurs conditions.

La première consiste en une bonne définition de la région étudiée, et notamment des conditions pédo-climatiques rencontrées. On a pu voir, dans la présentation générale du modèle, combien ces données étaient importantes en nombre et en niveau de précision. Dans le cas du Haut Pays d'Artois, les données météorologiques utilisées proviennent de la station météorologique de Boulogne sur Mer. Elles ont consisté en des données statistiques sur 38 ans (1956-1993) et des données journalières sur onze années (1983-1993). Parmi celles-ci, nous en avons sélectionné cinq représentatives de la variabilité des rendements obtenus pour le blé tendre, l'escourgeon, la betterave sucrière et le colza. Ces cinq années réelles retenues sont 1985, 1986, 1981, 1992, 1993.

Les données pédologiques nous ont été transmises par la mission sol du Service Régional de l'Hydraulique Agricole de Lille. Les principales caractéristiques de ce sol sont : une couverture limoneuse, des risques d'hydromorphie, la présence d'argile à silex sous les limons avec charge en matériaux grossiers.

La seconde condition pour une bonne approche des réalités agronomiques du Haut Pays d'Artois (plus précisément de la région où se situe l'exploitation de référence) est la modélisation des façons culturales. Celles-ci sont abordées chronologiquement au niveau d'E.P.I.C. en détaillant pour chacune des productions les différentes opérations effectuées (travail du sol, semis, fertilisation, irrigation, etc.) et les doses appliquées.

Les résultats obtenus par modélisation d'itinéraires réellement pratiqués permettent d'apprécier la finesse de la représentation des réalités pédologiques, climatiques et agronomiques et de procéder le cas échéant à la calibration du modèle. Une fois ces "réglages" opérés, nous pouvons construire d'autres itinéraires pour lesquels nous ne disposons pas de résultats et ainsi établir un horizon des réponses techniques possibles à telle ou telle politique agricole, horizon qui s'affranchit des limites contraignantes des seules pratiques de la réalité.

Le calcul des marges brutes associées à chacune des cultures et techniques et à chaque type de sol et de précédent est directement lié aux résultats obtenus par E.P.I.C. En effet, les rendements servent à estimer les chiffres d'affaire, tandis que les charges liées à l'exploitation de la terre proviennent des itinéraires saisis.

Sont ainsi pris en compte, les coûts des produits (semences, engrais, traitements phytosanitaires) et ceux des opérations nécessitant du matériel et de la main-d'oeuvre (travail du sol, semis, fertilisation, surveillance, irrigation, récolte...).

### III.1.1 LE SEMIS

Le semis représente un coût en matériel, main-d'oeuvre et semences. Ce dernier dépend directement du niveau d'intensification, en d'autres termes, de la technique définie au sens d'E.P.I.C. Ainsi, à chaque degré d'intensification choisi sont associés une dose à l'hectare et un prix au kg pour les semences. La charge financière à l'hectare est ainsi déterminée et imputée, en termes de trésorerie, à la période où s'est opéré le semis.

### III.1.2 LA FERTILISATION

Les quantités d'azote et de phosphore appliquées sont représentatives du niveau d'intensification de l'itinéraire technique. Associées à leur prix unitaire, ces quantités sont converties en coûts exprimés en fonction de la culture, du sol, du précédent et de la technique. En termes de gestion de trésorerie, comme pour les coûts des semences, les charges d'engrais sont comptabilisées à la période d'application. Cette approximation peu réaliste (les commandes et le règlement des factures des engrais sont groupés dans l'année et peu dépendants des périodes d'utilisation) est directement issue de l'approche avant tout agronomique, du logiciel E.P.I.C.

### III.1.3 LES TRAITEMENTS PHYTOSANITAIRES

E.P.I.C. permet la saisie des dates et des doses d'application des traitements phytosanitaires et donc, le calcul des coûts en matériel, main-d'oeuvre et produits associés. Si les charges liées à l'utilisation du matériel sont effectivement prises en compte de cette manière, nous avons préféré, en ce qui concerne les produits, constituer un fichier indépendant qui reprend selon le niveau d'intensification les dépenses périodiques. Plusieurs raisons sont à l'origine de ce choix. E.P.I.C. considère les matières actives des produits, ce qui oblige des saisies multiples pour chaque traitement alors que le nombre de saisies est lui-même limité.

De plus, le fichier des matières actives n'est pas exhaustif et ne permet pas toujours la saisie du traitement. Enfin, les prix associés à chacune des matières ne sont pas toujours indiscutables. Dans ces conditions et parce que les traitements phytosanitaires n'interviennent pas directement sur les rendements calculés par E.P.I.C., nous n'avons conservé la saisie des traitements à l'échelle d'E.P.I.C. que pour le calcul des charges de matériel et de main-d'oeuvre.

### III.1.4 LES OPÉRATIONS CULTURALES

Nous venons de voir différentes charges liées à certaines étapes de l'activité agricole : le semis, la fertilisation, les traitements phytosanitaires. D'autres opérations complètent cette activité. Ce sont, le travail du sol, la récolte. Ces interventions nécessitent l'utilisation de matériels et de main-d'oeuvre.

Les dépenses liées à ces opérations sont directement calculées à partir du nombre d'utilisations des équipements qui apparaît dans la saisie des itinéraires techniques auquel est associé un nombre moyen d'heures par hectare et un coût horaire à l'hectare. Ce coût comprend le carburant et l'entretien. Les amortissements matériels ainsi que la main-d'oeuvre ne sont pas pris en compte ici, ils font l'objet d'un calcul séparé.

Ces éléments ont permis de cerner les conditions d'utilisation d'E.P.I.C. et les relations avec le modèle économique. Examinons à présent la modélisation agronomique des itinéraires techniques testés.

## **III.2 RÉCAPITULATIF DES TECHNIQUES MODÉLISÉES ET ANALYSE COMPARÉE DES RÉSULTATS**

Les productions végétales modélisées sont de deux ordres : les cultures de vente (blé tendre, escourgeon (orge d'hiver), colza, betteraves sucrières), et les cultures fourragères : le maïs ensilage, les prairies temporaires et permanentes qui sont pâturées ou fauchées (ensilage d'herbe et foin).

La calibration d'E.P.I.C. aux conditions pédo-climatiques et variétales du Haut Pays d'Artois a été réalisée à partir de 32 parcelles réelles, représentatives de la zone, choisies par un conseiller de la Chambre d'Agriculture du Pas-de-Calais. Ces données, qui proviennent de quatorze exploitations de type grandes-cultures et/ou élevage, reprennent pour sept années consécutives, les rendements et les reliquats azotés associés aux cultures successives. La précision des rendements recueillis est bonne pour les cultures de vente, elle devient problématique pour les cultures autoconsommées et les fourrages.

La phase de calibration a donc consisté à simuler les conditions naturelles et techniques (notamment la fertilisation et le précédent) de chacune des 224 cultures réelles au moyen d'E.P.I.C., à comparer les résultats et à ajuster, le cas échéant, les paramètres du modèle. Les tests statistiques de comparaison des moyennes et variances (risque  $\alpha$  de 5 %) ont montré que les résultats simulés et les données réelles n'étaient pas significativement différents (voir annexe I).

Tableau 1  
Rendements réels et calculés

Cultures	Rendement moyen (qx/ha de M.S. *)	
	Réalité	E.P.I.C.
Blé tendre	66,9	67,9
Escourgeon	58,8	59,8
Betteraves (en t)	12,4	13,6
Pois	41	40
Colza	29,4	34
Mais ensilage	11,3	14,6

\*matière sèche

Du point de vue de la pollution nitratée, la validité du modèle est plus difficile à établir. En effet, l'indicateur disponible à l'échelle des 32 parcelles réelles est le reliquat azoté, tandis qu'au niveau d'E.P.I.C., il s'agit des pertes totales d'azote.

Le reliquat azoté est la quantité d'azote minéral contenue dans le sol et disponible pour la culture qui va être mise en place. La mesure du reliquat, effectuée ponctuellement en janvier-mars, se fait par dosage de l'azote minéral sur des échantillons prélevés sur la parcelle étudiée. Elle entre alors dans le calcul du bilan azoté qui établit l'équilibre entre les fournitures et les besoins en azote de la culture, permettant ainsi de connaître la fumure à apporter pour répondre aux objectifs de production dans la limite des potentialités agronomiques de la parcelle et ainsi éviter les gaspillages d'azote, sources de pertes financières et de pollution (Agence de l'eau Artois Picardie, 1990)<sup>9</sup>.

Le reliquat azoté ne constitue pas en soi un indicateur de risque de pollution. Il n'est qu'une mesure ponctuelle de la réserve d'azote minéral du sol qui ne préjuge en rien les quantités d'azote qui ont été ou qui seront effectivement lessivées pendant le cycle végétatif et l'interculture. En effet, celles-ci dépendent d'abord des quantités d'azote minéral présentes dans le sol au moment où les conditions climatiques et agronomiques vont favoriser la percolation et le ruissellement. On peut ainsi observer en février un faible reliquat d'azote minéral (donc lessivable), et constater en mars des pertes d'azote supérieures à celui-ci parce que des précipitations importantes ont succédé à un apport de fumier sur sol nu.

E.P.I.C. évalue quotidiennement le niveau de tous les paramètres influençant la production de biomasse. Ainsi, il prend en compte l'état du sol, les températures minimale et maximale, l'eau et les substances nutritives disponibles, etc. Pour l'azote, il retranscrit la dynamique des équilibres entre les différents états chimiques présents dans le sol et plus ou moins assimilables par les plantes, ou lessivables.

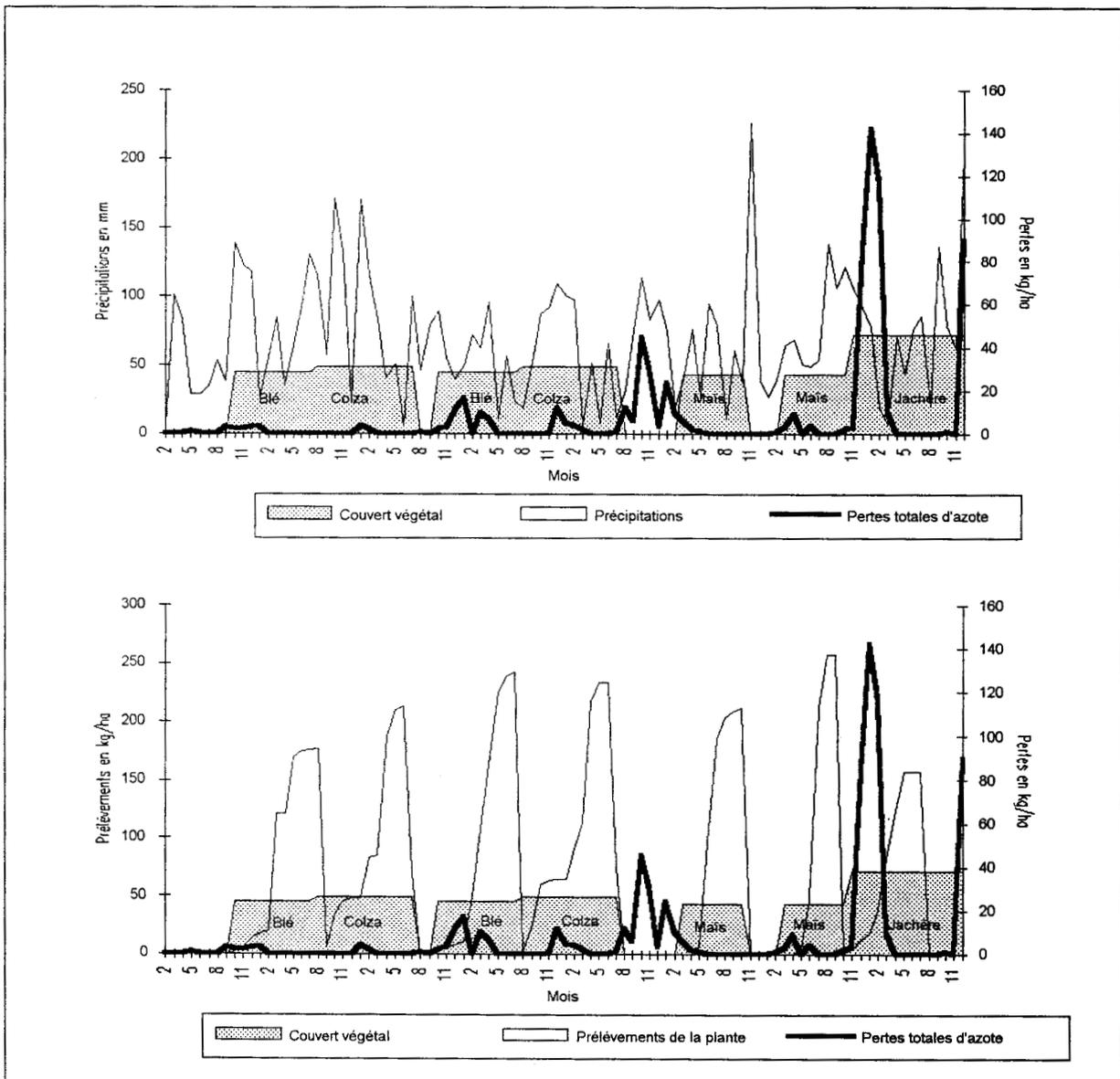
La modélisation agronomique des 32 parcelles réelles, réalisée à l'aide d'E.P.I.C., ne nous a pas permis d'expliquer les valeurs des reliquats azotés observés. Le manque de précision des fiches

<sup>9</sup> Le bilan azoté cherche à équilibrer les besoins de la culture en azote aux ressources que sont les apports d'engrais minéraux et organiques réalisés par l'agriculteur, et les fournitures du sol (minéralisation de l'humus et des résidus de récolte, reliquat d'azote minéral d'hiver).

de terrain, quant à la date exacte<sup>10</sup> de la mesure, ou au fractionnement des apports azotés peut en être la cause<sup>11</sup>.

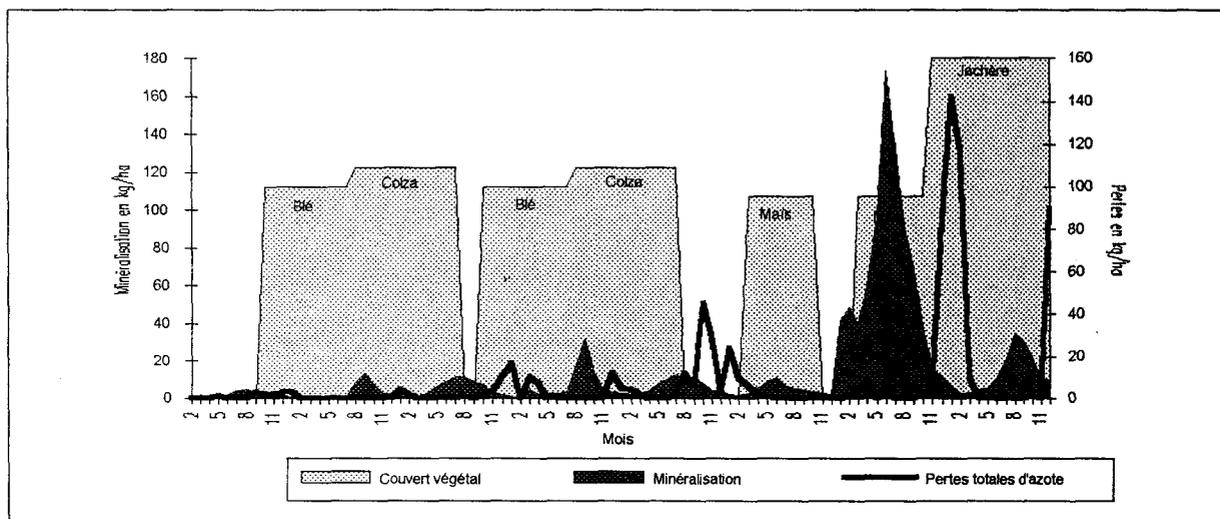
Néanmoins, la simulation a pu mettre en évidence les interrelations entre les précipitations, le couvert végétal, la minéralisation, les prélèvements par la plante et le lessivage. Les pertes calculées par E.P.I.C. apparaissent bien proportionnelles aux quantités minéralisées quelques mois auparavant. Le modèle montre bien que les périodes où le sol est nu et les débuts de cycle végétatif (où les besoins des plantes sont très faibles) sont les périodes où les pertes sont les plus importantes. E.P.I.C. met aussi en relief que les précipitations peuvent accentuer les phénomènes (graphique 1).

Graphique n°1 : Evolutions comparées des pertes d'azote et de divers paramètres.  
Exemple d'une parcelle réelle simulée par E.P.I.C.



<sup>10</sup> Pas de précision quant au jour et au mois .

<sup>11</sup> Il conviendrait donc de mettre un plan d'expérimentation de mesure des reliquats azotés très précis pour permettre la comparaison avec les calculs d'E.P.I.C.



Suite à la calibration du modèle, différentes pratiques culturales ont été modélisées afin de représenter l'horizon technique d'adaptation à la disposition de l'exploitant de référence.

Les tableaux qui suivent, présentent de manière synthétique les différents niveaux d'intensification des itinéraires retenus. La technique 3 est directement tirée de la réalité. Les techniques 1, 2 et 4, construites à partir de la précédente, ne sont pas utilisées dans la réalité dans le contexte économique de la pré-réforme, mais représentent une vision (limitée) de ce que pourraient être les réponses techniques à la mise en place de la réforme de la P.A.C.

Tableau 2  
Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques (en kg /ha)

Cultures	Technique n°4		Technique n°3		Technique n°2		Technique n°1	
	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)
Blé tendre	210	100	180	100	150	100	120	100
Escourgeon	200	100	170	100	140	100		
Colza	220	100	180	100	140	100		
Betteraves sucrières			140	100	90	100		
Maïs			140	100	90	100		
Prairie temporaire			250	250				

Tableau 3  
Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements

Cultures	Technique n°4		Technique n°3		Technique n°2		Technique n°1	
	Semis	Phyto	Semis	Phyto	Semis	Phyto	Semis	Phyto
Blé tendre	480	1220	480	1070	480	890	480	660
Escourgeon	480	965	480	890	480	740		
Colza	180	1240	180	1040	180	760		
Betteraves sucrières			1200	1900				
Maïs			250	500	250	500		
Prairie temporaire			375	0				

La réduction des charges en phytosanitaires correspond à l'élimination des réducteurs de croissance et de certains fongicides et insecticides dans les itinéraires culturaux. En revanche, les herbicides n'ont pas été réduits dans les techniques plus extensives.

Tableau 4  
Récapitulatif des rendements moyens (qx/ha de M.S.) sur 5 ans sur précédent blé

Cultures	Technique n°4	Technique n°3	Technique n°2	Technique n°1
Blé tendre	77,8	75,8	70,8	64,4
Escourgeon	64,4	63	58,4	
Colza	32,4	30,4	28,6	
Betteraves sucrières		140,8	117,6	
Mais		115,8	110,1	
Prairie temporaire		114,2		

Pour simuler l'influence sur les rendements de la réduction de certains traitements, nous avons procédé à la baisse arbitraire des rendements de la cinquième année selon les règles mentionnées ci-dessous :

Cultures	Baisse de rendements (qx)		
	Techn. 1	Techn. 2	Techn. 3
Blé tendre	10	5	0
Escourgeon	-	10	0
Colza	-	15	10

Les rendements des différentes cultures, exprimées en fonction des niveaux d'intensification (techniques), des précédents et des années, constituent la matrice technologique du modèle. Des tests statistiques d'analyse de la variance établissent, pour chaque culture, le caractère distinctif de ces trois dimensions et les différences significatives des rendements (annexe I).

A chaque élément de la matrice des rendements est associé un niveau de perte d'azote. Les valeurs représentent le cumul des pertes totales d'azote pour le précédent et la culture en place.

Tableau 5  
Récapitulatif des pertes totales\* d'azote moyennes sur 5 ans sur précédent blé (en kg/ha)

Cultures	Technique n°4	Technique n°3	Technique n°2	Technique n°1
Blé tendre	99	85	73	42
Escourgeon	64	54	46	
Colza	96	68	50	
Betteraves sucrières		65	57	
Mais		106	71	
Prairie temporaire		44		

\* pertes cumulées culture et précédent

L'analyse statistique des résultats établit la signification des résultats et le caractère distinctif des trois dimensions (précédent, année, technique) en fonction desquelles sont exprimées les pertes d'azote. On remarquera que ces différences sont plus difficiles à établir que pour les rendements (annexe I).

## SECTION IV : MODELISATION ECONOMIQUE DE L'EXPLOITATION

### IV.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU MODÈLE

Nous présenterons ici les principales caractéristiques du modèle économique. Une présentation plus détaillée de celui-ci, ainsi que le programme<sup>12</sup> lui-même se trouvent en annexe II.

Le modèle créé vise à reproduire la conduite d'une exploitation agricole soumise à différentes conditions économiques. L'hypothèse de base est que l'agriculteur maximise une utilité espérée sous certaines contraintes physiques, financières et de risque (FLICHMAN et al., 1993). Ainsi le modèle détermine le niveau optimal d'un certain nombre de variables telles que :

- l'assolement :

Chaque activité de production, est définie en fonction de 5 ensembles de caractéristiques :

- . le type de culture (blé, escourgeon, betteraves sucrières, colza, maïs, prairie temporaire et jachère) ;
- . l'adhésion à la réforme de la P.A.C. (oui ou non) ;
- . le type de sol ;
- . la technique (extensive, extensive raisonnée, intensive raisonnée, intensive) ;
- . le précédent cultural (même ensemble que les cultures).

- l'accès aux marchés des facteurs :

- . le foncier (location de terre) ;
- . le travail (niveau d'utilisation de la main-d'oeuvre familiale, embauche de main-d'oeuvre salariée) ;
- . le matériel (travaux par entreprise) ;
- . le crédit (montant des emprunts et des placements mensuels).

En respectant un certain nombre de contraintes :

- les précédents culturaux : la somme de toutes les cultures sur un précédent  $p$  ne peut excéder la surface occupée l'année précédente par cette même culture  $p$ . Il n'existe pas de rotations imposées et la combinaison productive optimale est choisie parmi toutes les associations cultures-précédents-sol-techniques. Ce niveau de spécification technique améliore les performances du modèle en évitant une spécialisation excessive des solutions, défaut fréquemment rencontré dans les modèles de programmation linéaire (BOUSSEMART et al., 1996).

- la jachère (15 % de la surface céréales-oléo-protéagineux pour bénéficier des aides compensatoires prévues par la réforme de la P.A.C.) ;

- les ressources en main-d'oeuvre et les disponibilités en matériel ;

- le crédit maximal accordé par la banque ;

- la trésorerie : le solde de trésorerie du mois précédent majoré des rentrées monétaires de la période et diminué des débours mensuels donne l'état de la trésorerie du mois en cours :

---

<sup>12</sup> Utilisation du logiciel GAMS (General Algebraic Model System).

### Solde de trésorerie

Dépenses mensuelles : charges opérationnelles, charges fixes, charges salariales, location de terre, location de main-d'oeuvre, location de matériel, prélèvements familiaux. Placements par mois, remboursement d'emprunts et intérêts payés.	Solde de trésorerie du mois précédent.  Recettes du mois : ventes, primes, location de main-d'oeuvre, location de terre.  Emprunts mensuels et intérêts perçus.
Solde de trésorerie du mois	

La trésorerie du début de l'année correspond à la trésorerie de la fin de l'année précédente majorée du montant de l'épargne annuelle et diminuée des annuités de remboursement des emprunts de l'année précédente.

- la structure foncière : La S.A.U. pour l'exercice en cours ne peut dépasser la S.A.U. de l'exercice précédent majorée des hectares supplémentaires repris en fermage et diminuée des terres cédées en location. Le fonctionnement du marché foncier (achat, vente de terres) n'est pas pris en compte ;

- la contrainte de risque. La formulation retenue ici est une variante de la formulation Target MOTAD proposée par TAUER (1983) (Cf annexe II), dans laquelle la fonction objectif, maximise une utilité espérée  $U$ , telle que  $U = E - \Phi \lambda$  (BOUSSARD et al., 1994). Ce qui revient, en quelque sorte, à maximiser le revenu espéré tout en minimisant sa variabilité.

Dans la formulation adoptée  $\Phi$  ou aversion au risque, représente le taux de substitution entre le revenu espéré ( $E$ ) et la somme des écarts négatifs à ce revenu ( $\lambda$ ) calculés sur la base de la variabilité des rendements, des prix et des primes.

Le revenu  $E$  s'écrit donc ainsi :

REVENU	
- Coûts salariaux - Achats de services - Fermages - Charges financières - Charges fixes	+ Marges directes + Intérêts perçus sur les placements + Revenus fonciers

On peut le formuler de la façon suivante :

$$E - \sum_j c_j X_j - Z_t \leq 0$$
$$\sum_t p_t Z_t \leq \lambda$$

où :

$c_j$  revenu espéré par activité ;

$X_j$  niveau de l'activité j ;

$E$  est le revenu espéré ;

t scénario aléatoire (dans notre modèle défini par la variabilité des rendements des cultures, et d'anticipations sur la variabilité des prix et des primes) ;

$Z_t$  l'écart négatif au revenu espéré du scénario t ;

$p_t$  la probabilité d'occurrence du scénario t ;

$\lambda$  la somme des écarts négatifs.

Dans ce modèle,  $\lambda$  est donc déterminé de manière endogène par le modèle. En revanche, l'aversion au risque  $\Phi$  est fixée de manière exogène.

- la positivité de certaines variables de décision : surfaces, heures de main-d'oeuvre, de traction, de récolte, de supervision, emprunts, placements, terres louées, déviations par rapport au revenu minimal.

Le modèle économique de simulation d'une exploitation de polyculture-lait-viande développé dans le cas du Haut Pays d'Artois est un modèle monopériodique récursif<sup>13</sup>.

Le modèle est monopériodique, c'est-à-dire qu'il optimise le revenu sur l'année. Une telle approche suppose donc une gestion annuelle de toutes les activités, y compris celles d'élevage, et notamment des taurillons dont le cycle de production est de 18 mois. Cette approximation permet de simplifier très largement le modèle sans pour autant entraîner d'importantes modifications des résultats<sup>14</sup>.

La récursivité<sup>15</sup>, quant à elle, permet de prendre en compte les résultats de l'année qui vient de s'écouler avant d'optimiser le revenu de l'année suivante. Cependant les décisions de l'année en cours sont prises indépendamment de leurs conséquences dans le futur.

Les éléments retenus dans la récursivité sont :

- les cultures qui déterminent les précédents cultureux de l'année suivante ;
- les locations de terre, qui modifient les disponibilités initiales ;
- le solde de trésorerie, qui définit la disponibilité initiale pour la période suivante ;
- les effectifs des animaux.

---

<sup>13</sup> Ce type de modèle a été développé par Flichman et Vicien (1992).

<sup>14</sup> Un modèle multipériodique a été construit pour modéliser la région du Barrois (BOUSSARD et al., 1995).

<sup>15</sup> Peu de modèles récursifs ont été jusqu'à présent développés, depuis les travaux de DAY (1961).

## IV.2 QUELQUES ASPECTS PARTICULIERS AU HAUT PAYS D'ARTOIS

Nous traiterons ici des éléments du modèle plus particuliers à la région du Haut Pays d'Artois : la culture de la betterave sucrière, la gestion des effectifs d'animaux et de leur alimentation et l'adaptation des conditions de la réforme de la P.A.C. dans le cadre d'un élevage mixte.

### IV.2.1 LA BETTERAVE : CULTURE CONTINGENTÉE

La culture de betteraves sucrières est limitée par des quotas à la production. Chaque producteur dispose d'un quota A et d'un quota B (fonction du A) . A ces références sont affectés des prix. Quand l'agriculteur dépasse cette référence, il produit au cours mondial.

Dans le modèle, nous avons réuni le A et le B en un seul quota auquel a été affecté un prix moyen. Il est possible de produire hors quota. Pour cela, nous avons créé deux cultures de betteraves : SUGB et SUGC (hors quota). Celles-ci sont totalement identiques au niveau de la conduite culturale. Les surfaces de betteraves SUGB sont limitées par le quota affecté à l'exploitation. SUGC peut être produit de façon illimitée au prix mondial.

### IV.2.2 LES EFFECTIFS DES ANIMAUX

La maquette économique modélise les cheptels suivants :

- En bovins mâles : veaux de huit jours, taurillons de 18 mois.
- En bovins femelles : génisses de moins d'un an, génisses d'un an, génisses de deux ans, vaches laitières, vaches de réforme maigres et grasses.

Les effectifs de chacun de ces cheptels sont, d'une part, interdépendants, et d'autre part, évoluent en fonction des ventes et des achats. (Cf. fig. 1). Ainsi le modèle qui maximise annuellement le revenu optimise-t-il les effectifs durant cette même période.

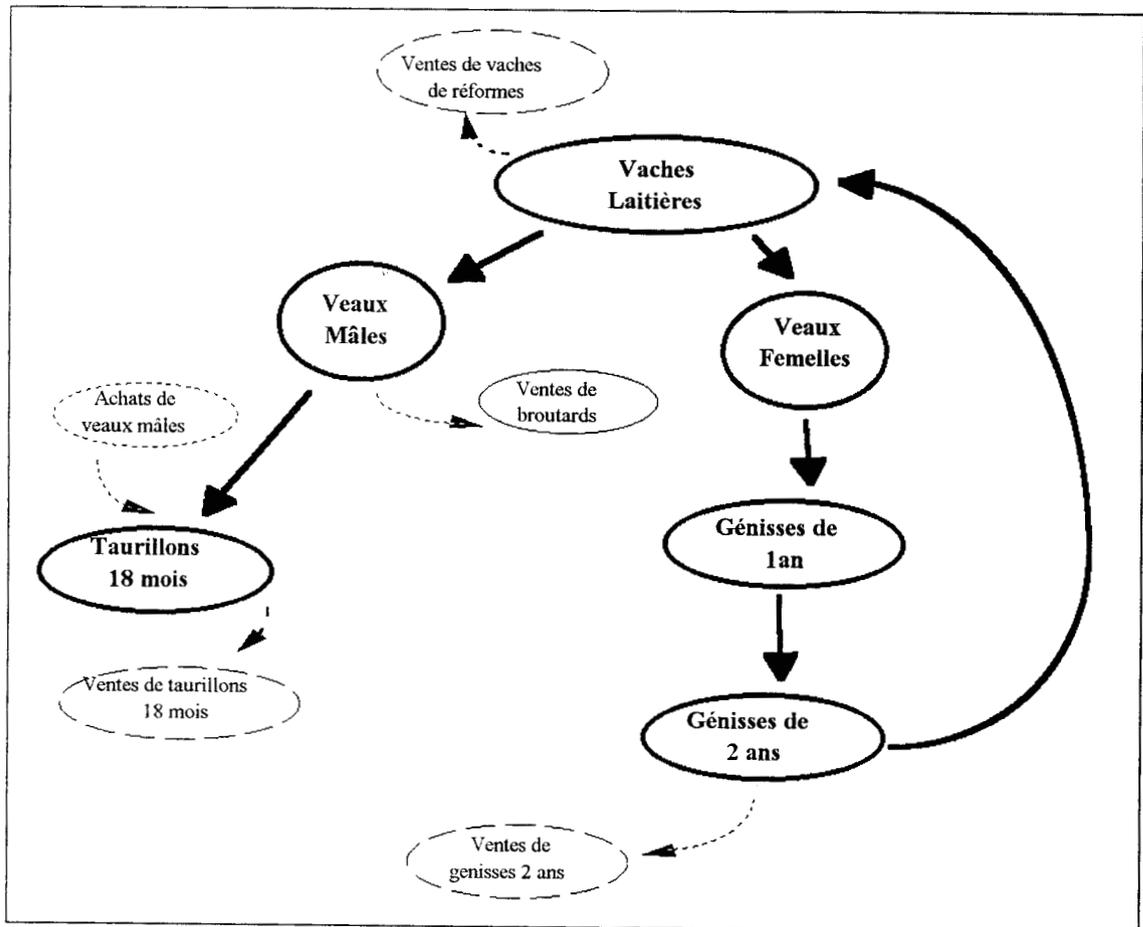


Fig 1 : Les flux d'animaux

Les critères techniques de conduite d'élevage qui ont été retenus sont les suivants :

- Le taux de réforme : l'agriculteur est obligé de réformer au moins 25 % de ses vaches annuellement ;
- Le nombre de veaux sevrés par vache : 0.9 ;
- Répartition mâles-femelles des veaux : 50-50.

L'activité d'élevage sur l'année peut se résumer de la façon suivante :

janv.	fev.	mar	avr.	mai	juin	jlt	août	sept.	oct.	nov.	dec.
	vente TA				vente VLM		vêlage VL achat et vente VEA vente de GL2	vente VLG			

VL vache laitière ;  
 VEA veaux mâles ;  
 VLM VLG vache de réforme maigre, grasse ;  
 GL2 génisses de deux ans ;  
 TA taurillon 18 mois ;

Ainsi au cours d'une année de croisière, le troupeau est constitué du cheptel de vaches laitières présent douze mois, des génisses de moins d'un an (veaf) présentes 4 mois (août à décembre), des génisses d'un an (gl1) présentes l'année entière, des génisses de plus d'un an (gl2) présentes 8 mois jusqu'à leur premier vêlage. Les veaux mâles naissant en août, sont considérés comme taurillons dès leur 8 jours. Le cycle de ces derniers, qui dans la réalité s'échelonne sur 18 mois (août an - février an+2), est ramené à l'année dans la modélisation. On considère que la vente des animaux a lieu en février.

Ces mouvements ne sont pas visibles dans le modèle puisque l'année n'est pas divisée en périodes. Les temps de présence sont toutefois pris en compte pour évaluer globalement les besoins alimentaires des animaux.

Le quota de production laitière est une variable exogène.

#### IV.2.3 L'ALIMENTATION

Dans la maquette développée ici, les besoins alimentaires des animaux ont été globalisés sur l'année pour les effectifs laitiers et sur le cycle (lui-même ramené à l'année, cf. infra) pour les taurillons. Cette façon de faire permet d'éviter de diviser l'année en périodes et donc de réduire le nombre de variables et la complexité de la maquette.

Quatre régimes, tirés de la réalité<sup>16</sup>, ont été reproduits. Chacun d'entre eux définit des besoins en fourrages (maïs ensilé, foin, ensilage d'herbe, pâturage) et en concentrés, pulpes, cmv, soja par type d'animaux. Chaque régime est lié à un niveau technique de mise en valeur des surfaces fourragères (qui s'exprime par des coûts de production et des rendements différents). A chaque régime est également associée une moyenne économique de production laitière.

L'optimisation des effectifs est donc liée à une optimisation de l'utilisation des surfaces fourragères et des coûts associés à l'exploitation de celles-ci.

On peut résumer les régimes de la manière suivante (les quantités sont exprimées par animal et par an) :

---

<sup>16</sup> Réseau de Fermes de Références Nord-Pas-de Calais. "Eleveurs de Bovins, Demain". 12 systèmes laitiers qui se sont adaptés aux contraintes économiques. Chambres d'Agriculture 02 60 80 59 62, EBD.

**Régime 1** : système fourrager : herbe 68 %, maïs 32 %.

Le maïs est la base de l'alimentation hivernale des vaches et le complément de la pâture en été.  
Les génisses consomment les excédents d'herbe de printemps sous forme d'ensilage ou de foin.  
Le maïs est la base de l'alimentation des taurillons, complété par du foin.

Régime 1	Vaches laitières	Génisses (ev*)	Réformes grasses	Taurillons
maïs ensilé	2160 kg	0	400 kg	2 500 kg
pâturage	0.38 ha	0.45 ha	0	0
foin	360 kg	400 kg	250 kg	200 kg
herbe ensilée	0	1 200 kg	0	0
concentrés	800 kg	0	100 kg	0
cmv	50 kg	gl2 : 50 kg	0	50 kg
soja	0	gl2 : 250 kg	0	600 kg
céréales acht	0	0	0	150 kg

\* ev : équivalent vache. gl1 : 0,25 ev, gl2 : 0,65 ev

Les céréales sont achetées, en aucun cas autoconsommées.

La production laitière est de 5 500 l/vache.

**Régime 2** : système fourrager : herbe 73 %, maïs 27 %.

Le maïs est la base de la ration des taurillons et est utilisé dans la ration hivernale des vaches laitières et des génisses en complément du foin.

Régime 2	Vaches laitières	Génisses (ev*)	Réformes grasses	Taurillons
maïs ensilé	1 440 kg	350 kg	400 kg	2 500 kg
pâturage	0.50 ha	0.50 ha	0	0
foin	720 kg	1 060 kg	250 kg	200 kg
concentrés	800 kg	0	100 kg	0
cmv	50 kg	gl2 : 50 kg	0	50 kg
soja	0	gl2 : 250 kg	0	600 kg
céréales acht	0	0	0	150 kg

\* ev : équivalent vache

La production laitière est de 5 500 l/vache.

**Régime 3** : système fourrager : herbe 60 %, maïs 40 %.

Le maïs est la base de la ration des taurillons et de celle des vaches en hiver et le complément de la pâture en été.

Régime 3	Vaches laitières	Génisses (ev*)	Réformes grasses	Taurillons
maïs ensilé	2 400 kg	1 000 kg	400 kg	2 500 kg
pâturage	0.26 ha	0.34 ha	0	0
foin	180 kg	710 kg	250 kg	200 kg
pulpes	360 kg	0	0	0
concentrés	900 kg	0	100 kg	0
cmv	50 kg	gl2 : 50 kg	0	50 kg
soja	0	gl2 : 250 kg	0	600 kg
céréales acht	0	0	0	150 kg

La production laitière est de 5 700 l/vache.

Régime 4 : système fourrager : herbe 82 %, maïs 18 %.

Le maïs est la base de la ration des taurillons et de celle des vaches en hiver et le complément de la pâture en été.

Régime 4	Vaches laitières	Génisses (ev*)	Réformes grasses	Taurillons
maïs ensilé	2 490 kg	0	400 kg	2 500 kg
pâturage	0.26 ha	0.60 ha	0	0
foin	360 kg	1 270 kg	250 kg	200 kg
concentrés	800 kg	0	100 kg	0
cmv	50 kg	gl2 : 50 kg	0	50 kg
soja	0	gl2 : 250 kg	0	600 kg
céréales acht	0	0	0	150 kg

\* ev : équivalent vache

La production laitière est de 5 500 l/vache.

Tableau 1 :  
Association des régimes et des techniques (T1,T2,T3,T4)

Régime 1	Régime 2	Régime 3	Régime 4
Maïs T2	Maïs T2	Maïs T3	Maïs T3
Foin (temporaire) T3	Foin (temporaire) T3	Foin (temporaire) T3	Foin (temporaire) T3
pâture VL T3	pâture VL T2	pâture VL T4	pâture VL T4
pâture élev T2	pâture élev T3	pâture élev T4	pâture élev T1
Foin + pâture VL T4	Foin + pâture VL T2	Foin + pâture VL T3	Foin + pâture VL T3
Foin + pâture élev T3	Foin + pâture élev T2	Foin + pâture élev T4	Foin + pâture élev T1

Tableau 2 :  
Récapitulatif de la fertilisation par technique

	Tech 1		Tech 2		Tech 3		Tech 4	
	N	P	N	P	N	P	N	P
Maïs ensilage	-	-	90	100	140	100	-	-
Pâture VI	-	-	100	80	200	85	250	100
Pâture élev	50	40	80	80	100	80	180	85
Foin + pâture VL	-	-	100	80	200	120	250	120
Foin + pâture élev	50	40	100	80	150	85	200	120
foin prairie tempo	-	-	-	-	250	100	-	-

Tableau 3 :  
Récapitulatif des rendements utiles (M.S.)

	Tech 1	Tech 2	Tech 3	Tech 4
Maïs ensilage (t)	-	11	11,6	-
Foin + pâture VL (t)	-	foin : 4	foin : 4,5	foin : 2 ens : 4
Foin + Pâtur élev (t)	foin : 3	foin : 4	foin : 4	foin : 4,5
Foin sur prairie tempo (t)	8	8	8	8

Les céréales consommées par les taurillons sont achetées à l'extérieur. Seuls le maïs et les prairies temporaires sont donc en concurrence avec les cultures de vente dans la répartition de la S.A.U. Les prairies permanentes sont fixes, elles ne peuvent être implantées en cultures de ventes ou autres fourrages.

#### IV.2.4 LA MODÉLISATION DE LA RÉFORME DE LA P.A.C. POUR L'ÉLEVAGE

Les quatre primes accordées aux agriculteurs ne le sont que si le chargement de l'exploitation est inférieur à des seuils définis pour chacune des primes.

Pour modéliser de telles dispositions, nous n'avons pu procéder à l'optimisation du chargement selon l'intérêt à toucher les primes ou non. En effet, la contrainte de chargement est dans ce cas le rapport de deux variables endogènes et GAMS ne peut résoudre ce type de problème (l'optimisation du nombre d'U.G.B. dépend de l'optimisation de la SFP et vice-versa).

La solution que nous avons donc adoptée est d'effectuer plusieurs simulations en se plaçant à chaque fois dans des conditions de chargement différentes. Le tableau 3 montre les différents cas envisagés.

Tableau 4  
Seuils de chargements pour l'obtention des primes en 1993

	Prime bovins mâles	Prime extensification	Prime herbe
moins de 1 U.G.B.	X	X	X
de 1 à 1.4	X	X	
De 1.4 à 3	X		
plus de 3			

La présence d'un élevage laitier a néanmoins nécessité la modélisation du calcul des U.G.B. primées. Ainsi, à partir du seuil de chargement de l'année en cours, l'éleveur se voit attribuer une enveloppe d'U.G.B. primables (seuil de chargement \* surface fourragère principale). De cette enveloppe sont déduites de manière prioritaire les U.G.B. laitières. Le nombre d'U.G.B. ainsi obtenu correspond aux U.G.B. primées.

#### IV.2.5 LA DISPONIBILITÉ EN BÂTIMENT

La contrainte de logement des animaux durant l'hiver est raisonnée en fonction d'un besoin théorique en m<sup>2</sup> par animal. On dispose d'une capacité de départ. Toute augmentation de l'effectif total au-delà de cette disponibilité exige l'achat de surfaces supplémentaires.

#### IV.2.6 LES VARIABLES FINANCIÈRES

La fonction d'épargne se compose d'un placement à court terme à 4 % disponible d'un mois sur l'autre et d'un placement à 7 % bloqué sur un an. Les placements sont plafonnés à 300 000 F.

Le remboursement des emprunts à court terme (11 %, plafonnés à 200 000 F) peut se faire en cours d'année. Le taux d'intérêt des emprunts à long terme est fixé à 10 %.

Les investissements peuvent être en partie réalisés par autofinancement.

### **SECTION V : CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES DE LA REFORME DE LA P.A.C. : LES RÉPONSES DU MODÈLE**

#### **V.1 RÉCAPITULATIF DES CARACTÉRISTIQUES DE L'EXPLOITATION DE RÉFÉRENCE MODÉLISÉE**

Rappelons que l'exploitation retenue pour être modélisée est tirée de la réalité. Elle offre une représentativité certaine en termes d'activité, mais correspond à un cas particulier en ce qui concerne l'environnement financier (trésorerie, placements et endettement). Dans ces conditions, les simulations réalisées sont à considérer comme des exercices à portée restreinte.

On peut résumer les caractéristiques technico-économiques de l'exploitation de référence dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1  
Les caractéristiques de l'exploitation modélisée

1. S.A.U. (ha)	90
2. Main-d'oeuvre (UTA)	
Familiale	1
Salariée	0.5
3. Tracteurs	2
4. Productions végétales (ha)	
Blé tendre	23
Escourgeon	10
Colza	10
Betteraves sucrières	9
Maïs ensilage	13
Prairies permanentes	25
5. Quota de betteraves (t)	610
6 Cheptel	
Veaux de 8 jours	22
Taurillons 18 mois	22
Vaches laitières	30
Génisses d'un an	14
Génisses de deux ans	15
7. Quota laitier (en milliers de litres)	170
8. Bâtiments d'élevage (m <sup>2</sup> )	656
8 Données financières	
Charges fixes <sup>17</sup> (kF)	300
Amortissement (kF)	150
Dette long terme (kF)	550
Trésorerie initiale (kF)	150
Autofinancement (kF)	200
Prélèvements familiaux (kF/mois)	15

Les simulations sont établies sur 6 ans (1991 - 1996), dans le cadre d'une S.A.U. bloquée à sa valeur d'origine en laissant libre le recours aux services en matériels et main-d'oeuvre.

Les conditions de prix et de primes retenues sont reprises dans les tableaux suivants :

Tableau 2  
Les prix de vente des cultures\*

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Blé tendre (F/q)	111	111	100	90	84	84	84
Escourgeon (F/q)	102	102	90	79	70	70	70
Colza (F/q)	225	100	100	100	100	100	100
Betteraves A+B (F/t)	170	170	170	170	170	170	170
Betteraves C (F/t)	90	90	90	90	90	90	90

\* Evolution des prix prévue par la réforme de la P.A.C. en 1992.

<sup>17</sup> Comprennent les coûts de la main-d'oeuvre salariée.

Tableau 3  
Les primes dans le Haut Pays d'Artois\*

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Blé tendre (F/ha)	0	0	1368	1910	2456	2456	2456
Escourgeon (F/ha)	0	0	1368	1910	2456	2456	2456
Colza (F/ha)	0	4261	4261	4261	4261	4261	4261

\* Evolution des primes prévue par la réforme de la P.A.C. en 1992.

Tableau 4  
Les prix de vente des animaux\*

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Vache de réforme**	17.70	17.70	16.81	15.93	15.04	15.04	15.04
Génisse de 2 ans ***	6068	6068	6068	6068	6068	6068	6068
Taurillon de 18 mois**	19.80	19.80	18.81	17.82	16.83	16.83	16.83
Veau de 8 jours***	1054	1054	984	913	843	843	843

\* Evolution des prix prévue par la réforme de la P.A.C. en 1992.

\*\* en F/kg carcasse (vache de réforme maigre : 313 kg, grasse : 360 kg, taurillon : 355 kg).

\*\*\* en F par animal vif.

Tableau 5  
Autres données économiques

Prix de vente du lait <sup>18</sup> (F/l)	1,97
Coût du m <sup>2</sup> construit (F)	900
Coût d'achat travaux de récolte (F/heure)	650
Coût d'achat autres travaux (F/heure)	200
Coût horaire d'un saisonnier	150

Le paramètre d'aversion au risque  $\Phi$  retenu est de 0,10.

## V.2 LES RÉSULTATS

Les résultats présentés comparent deux scénarios : "application de la réforme Mac Sharry" et "continuité de la P.A.C. (en maintenant constants les prix à partir de 1992, à partir de 1991 pour le colza).

Dans le scénario "avec réforme", nous nous sommes placés dans le cas où l'exploitant touche (et donc respecte les contraintes de chargement) la prime P.A.C., sans toucher ni la prime herbe, ni la prime extensification.

<sup>18</sup> Considéré comme fixe sur la période.

## V.2.1 VALIDITÉ DES RÉSULTATS

La comparaison de l'évolution de l'emblavement entre l'exploitation réelle et sa modélisation permet d'apprécier la validité de l'exercice.

Tableau 6  
Comparaison des assolements (en % de la S.A.U.)

	Exploitation réelle			Exploitation modélisée		
	1991	1992	1993	1991	1992	1993
Blé	27	28	27	32	35	37
Escourgeon	12	11	13	8	8	8
Colza	12	9	0	11	8	0
Betteraves sucrières	4	4	4	10	10	10
Mais ensilage	14	16	18	12	12	10
Prairies permanentes	32	32	28	28	28	28
Jachère	0	0	11	0	0	8

En accord avec la réalité, le modèle restitue le déclin de la culture du colza, jusqu'à sa disparition de l'assolement en 1993 au profit principalement de la jachère.

Le modèle reprend bien la prédominance des céréales d'hiver (blé, escourgeon). Cependant, il présente une évolution moins statique de l'assolement en blé que celle observée à l'échelle de l'exploitation réelle de référence : dans la simulation, la culture de blé voit son importance relative augmenter avec le temps.

Les surfaces en betteraves sucrières, culture contingentée, ne changent pas d'une année sur l'autre. La différence de pourcentages entre la réalité est la simulation (4 % et 10 %) provient des 5 hectares supplémentaires de S.A.U. qu'il existe entre les deux situations (85 ha pour l'exploitation réelle et 90 ha pour celle simulée), hectares attribués en totalité à la culture de betteraves. Cette décision a été prise pour donner à cette culture une importance plus conforme aux moyennes régionales.

Les surfaces fourragères présentent des évolutions distinctes, notamment pour le maïs ensilage. L'introduction de régimes alimentaires "types" représentatifs de la région (Cf. supra) dans le modèle, sensiblement différents de ceux utilisés par l'exploitant de référence, peut expliquer ces divergences.

La comparaison des résultats de la simulation à l'échelle de la petite région agricole du Haut Pays d'Artois est plus délicate. En effet, les analyses de groupe des centres de gestion<sup>19</sup> ne suivent pas obligatoirement d'année en année un même échantillon d'exploitations. De plus, il est impossible de se baser sur les exploitations dont l'activité soit comparable à celle qui a été simulée puisque les seuls résultats disponibles sont exprimés pour chacune des cultures comme la moyenne des surfaces des exploitations produisant cette culture. Peuvent être ainsi associées des exploitations très spécialisées en céréales et des exploitations qui produisent des céréales, mais aussi du colza et des betteraves sucrières. Enfin, la surface totale et le nombre d'exploitations de l'échantillon concernés par chaque culture ne sont pas spécifiés. Dans ces

<sup>19</sup> Analyses de groupe UGCA pour le Haut Pays-Boulonnais, 1991, 1992, 1993.

conditions, seuls les résultats de l'année 1993, exprimés en fonction de la surface totale couverte par l'échantillon sont exploitables (tableau 7).

Tableau 7  
Répartition des cultures en 1993 (% de la S.A.U.)

	Analyse Groupe*	Simulation
Blé	36	37
Escourgeon	8	8
Colza	2	0
Betteraves sucr	8.3	10
Maïs ensilage	8	10
Prairies perm.	21	28
Jachère	8	8

\* le total n'est pas égal à 100 : manquent les pommes de terre, les pois, les légumes et autres cultures industrielles

En revanche, il est plus facile de comparer les résultats de la simulation avec l'évolution des surfaces de l'échantillon d'exploitations du Haut Pays, ayant servi de base de référence pour le choix de l'exploitation modélisée. On voit que sur les années 1991 et 1992 (les seules disponibles), les évolutions sont comparables, même si dans le cas du modèle, l'escourgeon est sensiblement sous représenté au profit des surfaces fourragères (tableau 8).

Tableau 8  
Comparaison des assolements (en % de la S.A.U.)

	Moyenne échantillon			Exploitation modélisée		
	1991	1992	1993	1991	1992	1993
Blé	30	32	nd	32	35	37
Escourgeon	16	16	nd	8	8	8
Colza	10	9	nd	11	8	0
Betteraves sucrières	9	9	nd	10	10	10
Surfaces fourragères	32	31	nd	40	40	39

Moins fines, parce qu'elles agrègent les résultats de neuf petites régions agricoles<sup>20</sup>, les statistiques agricoles départementales<sup>21</sup> ont relevé les tendances suivantes :

<sup>20</sup> Collines Guinoises, Boulonnais, Bas Champs Picards, Pays de Montreuil, Haut Pays d'Artois, Pays d'Aire, Béthunois, Ternois et Artois.

<sup>21</sup> Annales de statistique agricole Nord-Pas-de-Calais 1993, 1994, 1995.

Tableau 9  
Les résultats dans le Pas-de-Calais (indice 100 1991)

	Moyenne département				Exploitation modélisée			
	1991	1992	1993	1994	1991	1992	1993	1994
Blé	100	100	85	88	100	111	117	140
Escourgeon	100	84	59	47	100	100	100	0
Colza	100	89	51	60	100	68	0	0
Betteraves sucrières	100	101	94	94	100	100	97	99
Maïs ensilage	100	101	102	109	100	102	84	84
Prairies permanentes	100	99	97	95	100	100	100	100

### V.2.2 LES RÉSULTATS

L'application de la réforme à l'échelle de l'exploitation de référence modélisée montre que :

L'influence de la réforme sur le revenu devrait être positive dans un premier temps, puis défavorable à partir de 1995 (100 à 200 F/ha d'écart en deçà du scénario sans réforme). Ces tendances s'expliquent différemment selon l'activité : la réforme bénéficierait à la production végétale contrairement à l'élevage. Dans la réalité, si l'évolution des marges de l'élevage est comparable à celle donnée par le modèle, les marges des cultures sont sous-estimées par la simulation parce que les prix n'ont pas connu la baisse envisagée et les primes ont quand même été touchées. Dans ces conditions, le revenu "après réforme" est supérieur à celui "sans réforme" sur la période considérée (graphique 1).

Au niveau de l'emblavement, la réforme entraîne bien-sûr l'apparition de la jachère et favorise le renforcement de la sole de blé tendre aux dépens du colza et de l'escourgeon. La part des surfaces fourragères devrait rester stable à terme, la réforme accélérant la légère diminution des surfaces de maïs ensilage. En termes de régime alimentaire, on observe que la réforme devrait entraîner l'abandon du régime n°1 au profit du régime n°2, plus extensif (moins de maïs, plus de pâturage et de foin), pour l'alimentation des vaches laitières (graphique 2).

En termes de techniques de production des cultures de vente, la réforme devrait favoriser le recours à des techniques plus extensives, notamment pour la production de blé tendre (graphique 3).

Quant aux cultures fourragères, on observe aucune évolution des techniques de production en réponse à la réforme, les changements se situant uniquement au niveau des régimes alimentaires (cf. supra).

Les apports d'azote diminuent avec la réforme (de 134 kg/ha en 1991 à 105 kg/ha en 1996). Cette évolution ajoutée à celle des choix des cultures, devrait aboutir à la diminution des pertes totales d'azote (de 73 kg/ha à 48 kg/ha, graphique 4).

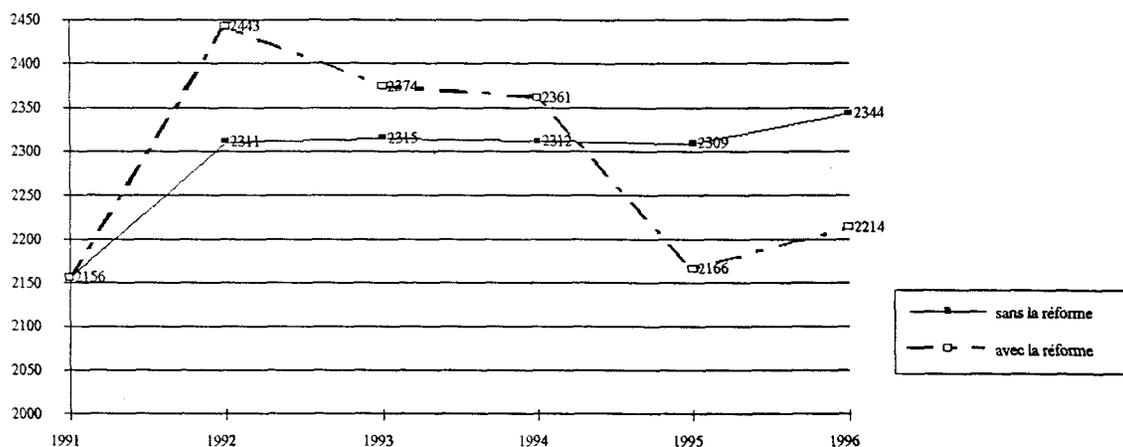
Concernant le cheptel :

L'importance de l'effectif des vaches laitières est conditionnée par le quota alloué, soit 170 000 l pour chacune des six années de la simulation. Les quantités produites par vaches variant selon leur régime alimentaire, cet effectif peut théoriquement varier sensiblement dans le temps. Dans la pratique, le modèle montre une parfaite stabilité du cheptel aussi bien sur les 6 ans d'un même scénario que d'un scénario à l'autre (31 vaches présentes). Par conséquent, les effectifs femelles demeurent constants (8 vaches de réforme, 6 génisses de 2 ans vendues). On constate ainsi que la réforme n'entraînerait pas de changement dans la valorisation des vaches de réforme (toutes vendues grasses).

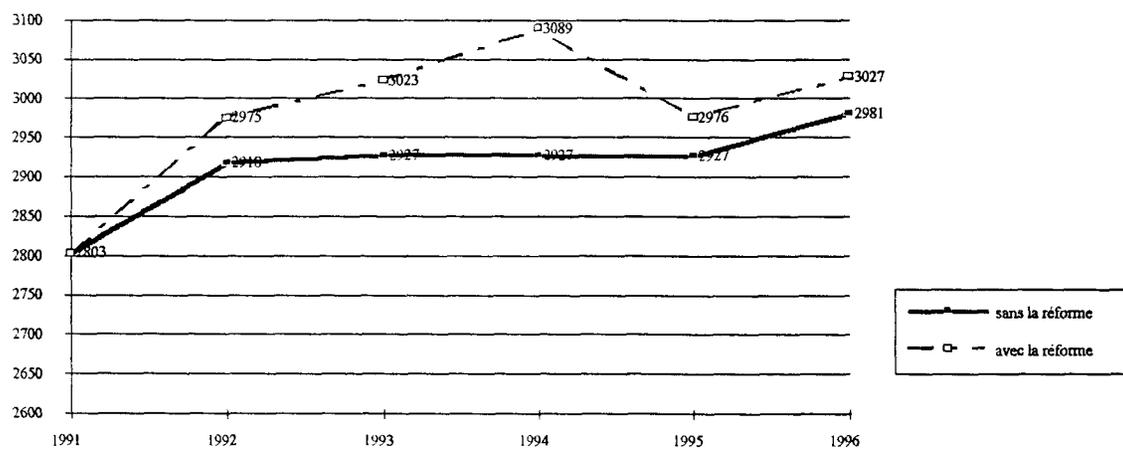
Le cheptel mâle, plus flexible grâce à la possibilité d'acheter des veaux mâles et de vendre des taurillons de 18 mois, ne connaît pourtant pas de conduite différente selon les deux scénarios. Ainsi en régime de croisière, l'exploitation simulée, dont la vocation première n'est pas de produire de la viande (mais bien du lait) vend chaque année 22 taurillons à partir de 14 veaux issus de son cheptel laitier et de 8 veaux de 8 jours achetés.

# Graphique n° 1 : Le revenu

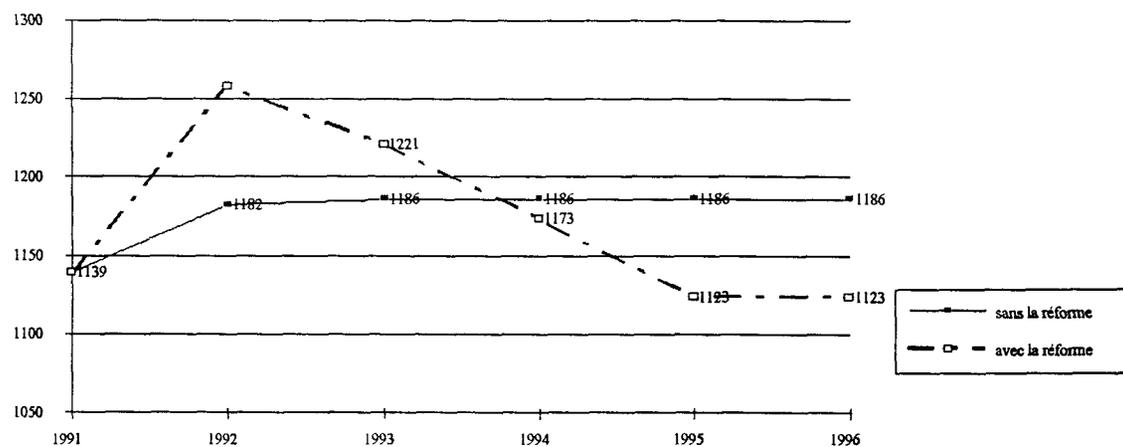
Evolution du revenu agricole (F/ha)



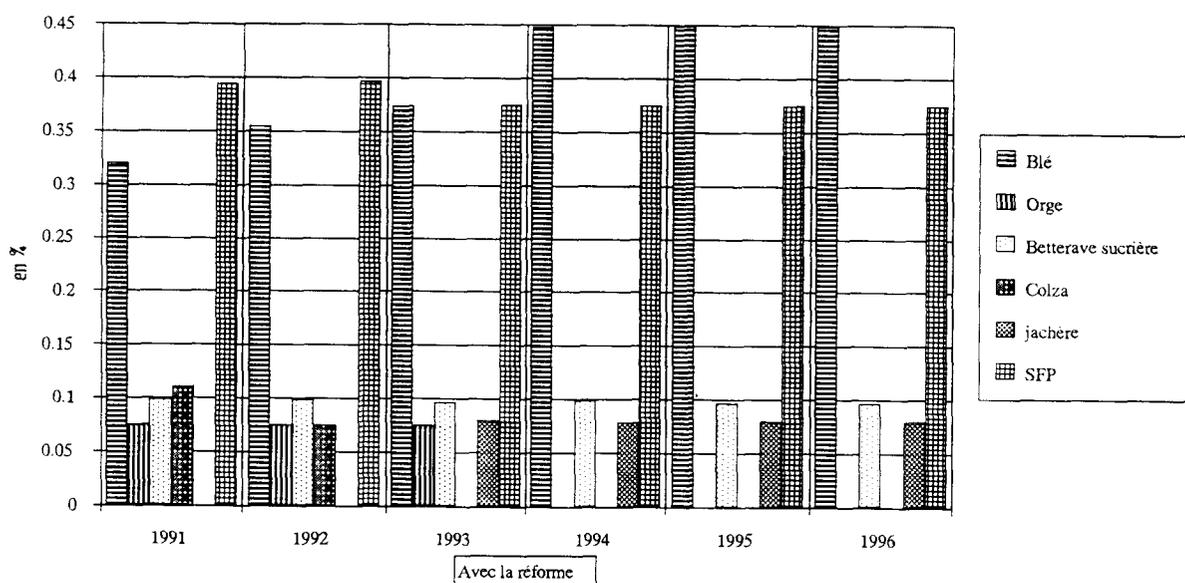
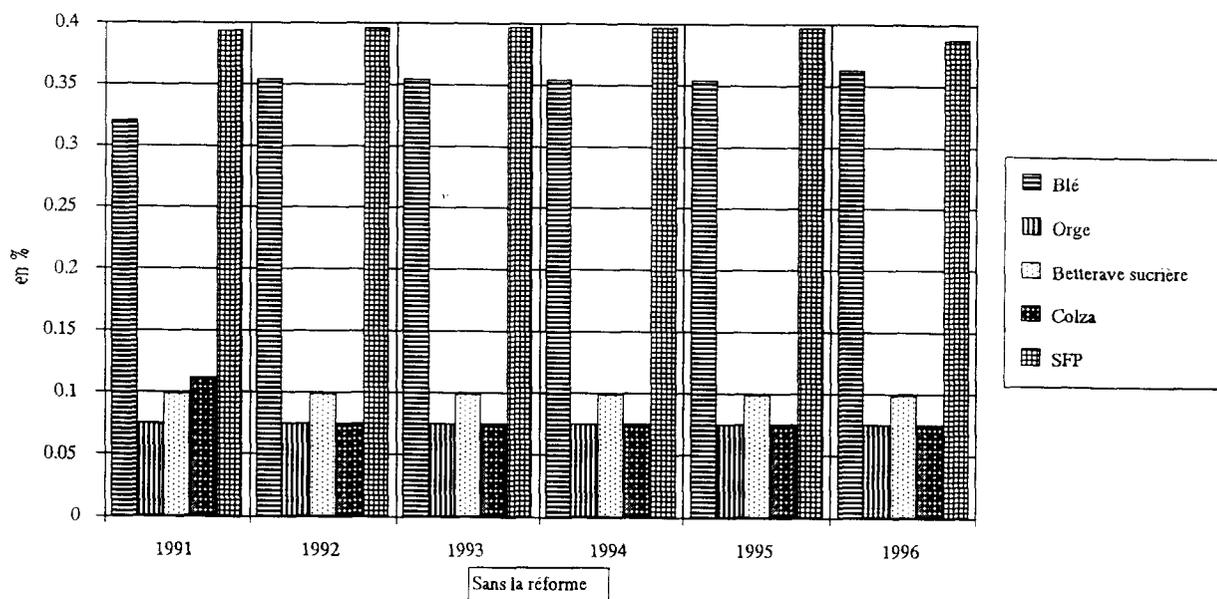
Evolution de la marge culture (F/ha)



Evolution de la marge élevage (F/ha)

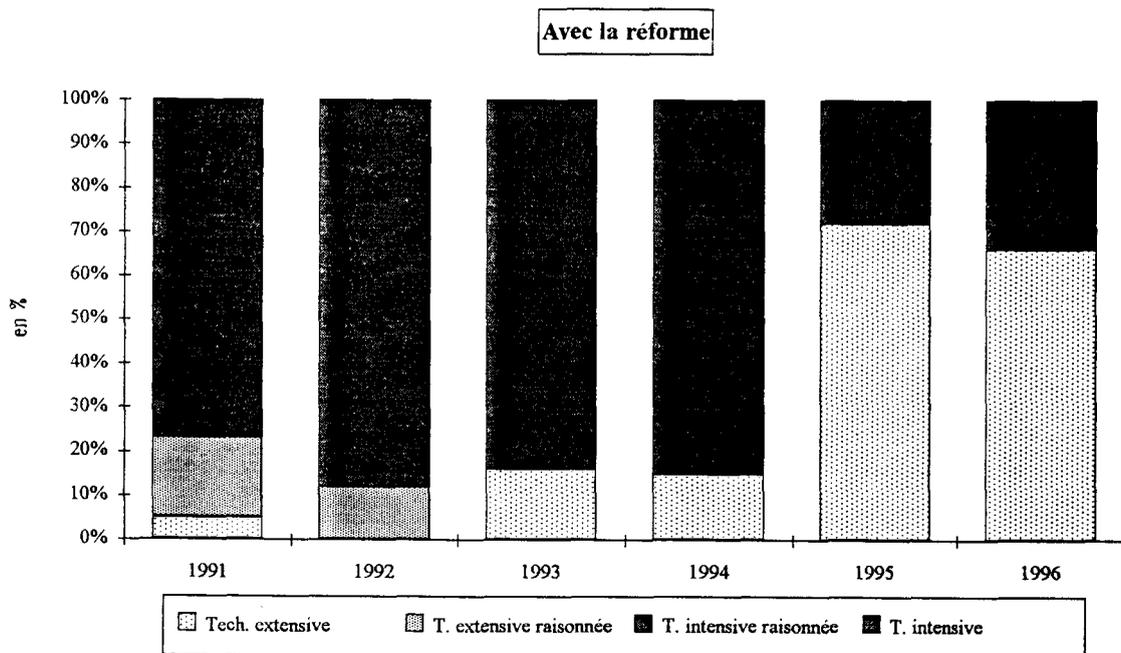
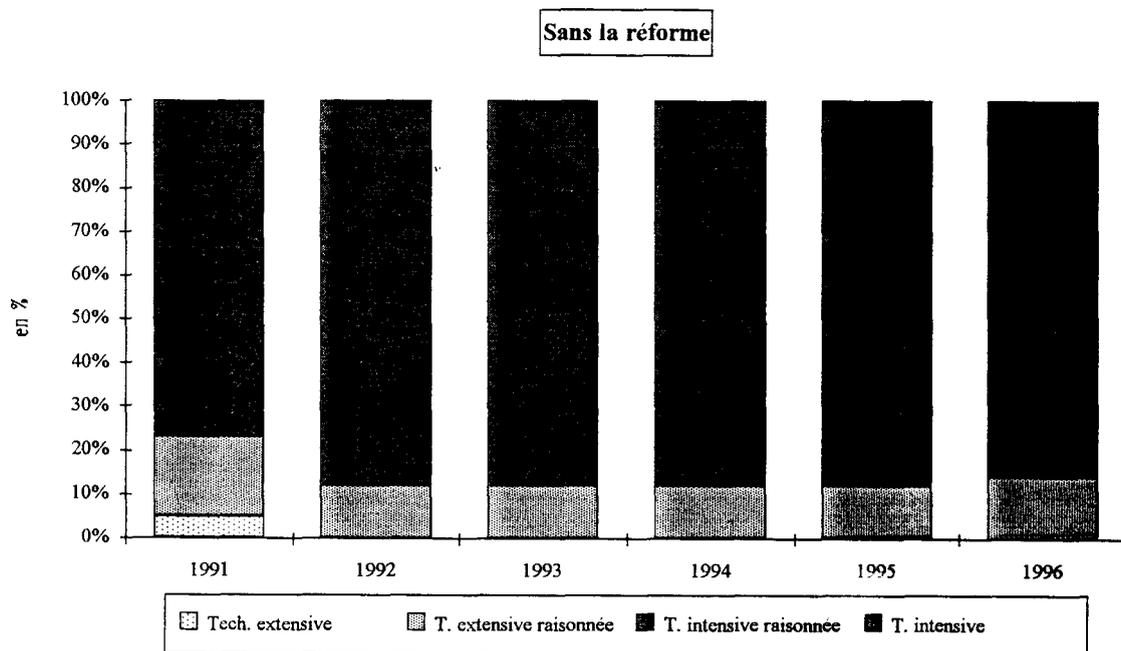


Graphique n° 2 : Evolution de l'emblavement

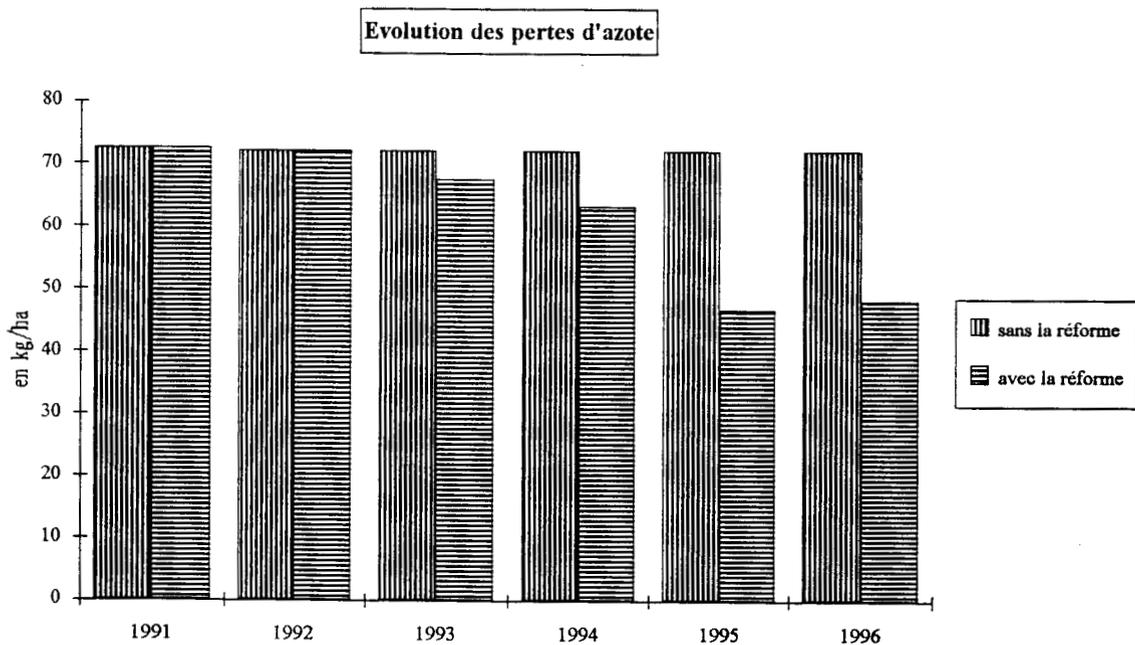
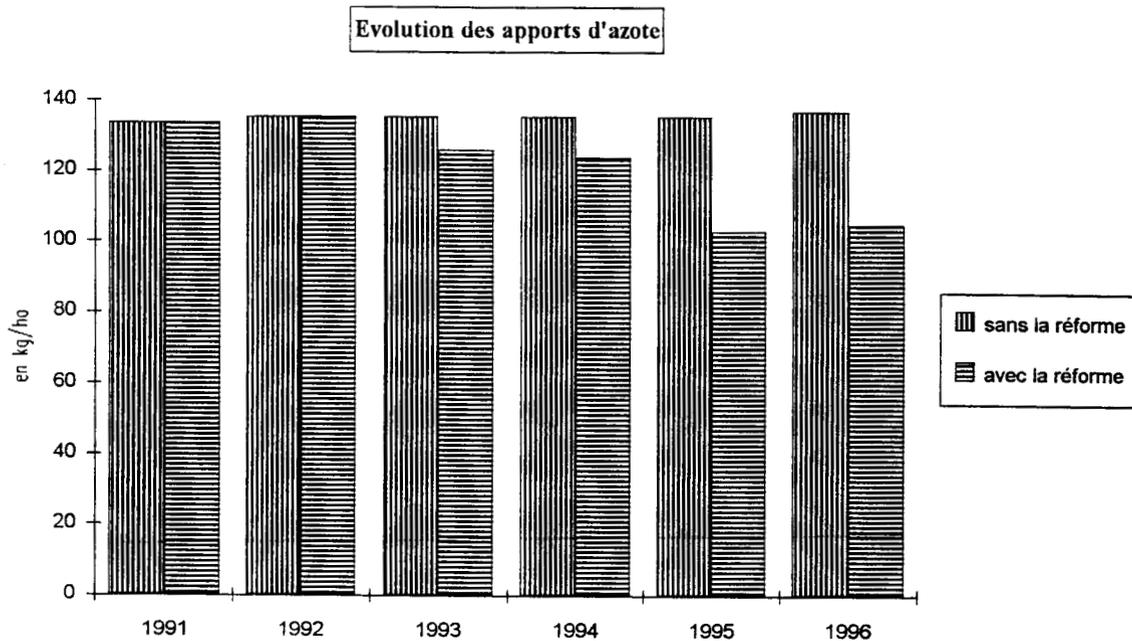


		1991	1992	1993	1994	1995	1996
Blé	<i>Sans la réforme</i>	32 %	35 %	35 %	35 %	35 %	36 %
	<i>Avec la réforme</i>	32 %	35 %	37 %	45 %	45 %	45 %
Orge	<i>Sans la réforme</i>	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %
	<i>Avec la réforme</i>	8 %	8 %	8 %	0 %	0 %	0 %
Betteraves	<i>Sans la réforme</i>	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %
	<i>Avec la réforme</i>	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %
Colza	<i>Sans la réforme</i>	11 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %
	<i>Avec la réforme</i>	11 %	8 %	0 %	0 %	0 %	0 %
SFP	<i>Sans la réforme</i>	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	39 %
	<i>Avec la réforme</i>	40 %	40 %	39 %	39 %	39 %	39 %

Graphique n° 3 : Evolution des techniques culturales des cultures de vente



# Graphique n° 4 : Impacts sur l'environnement

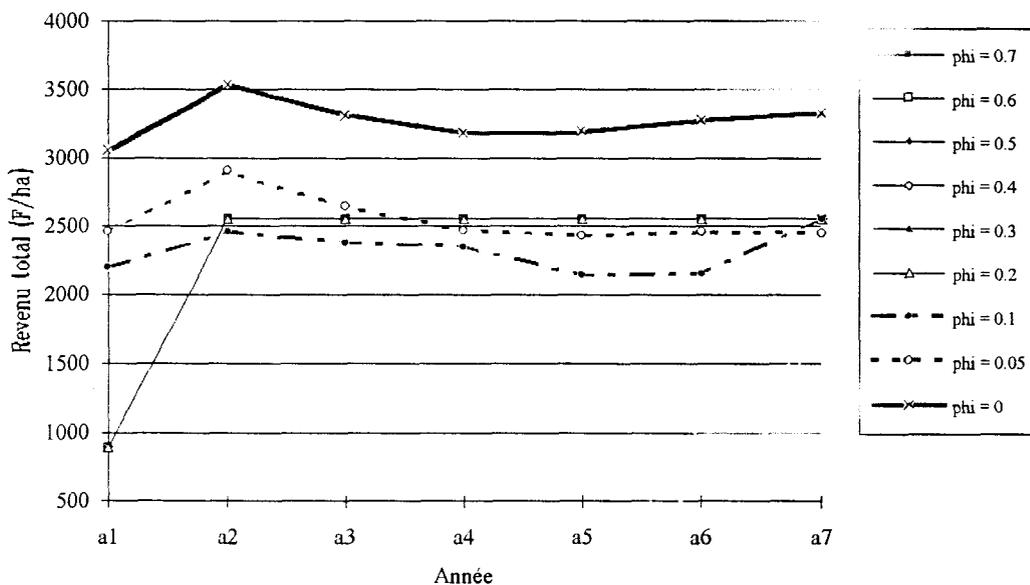


## V.2.2 STABILITÉ DU MODÈLE ET DES RÉSULTATS

Le paramètre d'aversion au risque  $\Phi$  rend compte de manière exogène du comportement de l'agriculteur face à la variabilité des rendements, des prix et des primes. Nous montrons ici, qu'à l'échelle du modèle, ce paramètre ne remet pas en cause la stabilité des résultats. Pour cela, nous comparons les réponses du modèle pour différents scénarios d'aversion au risque.

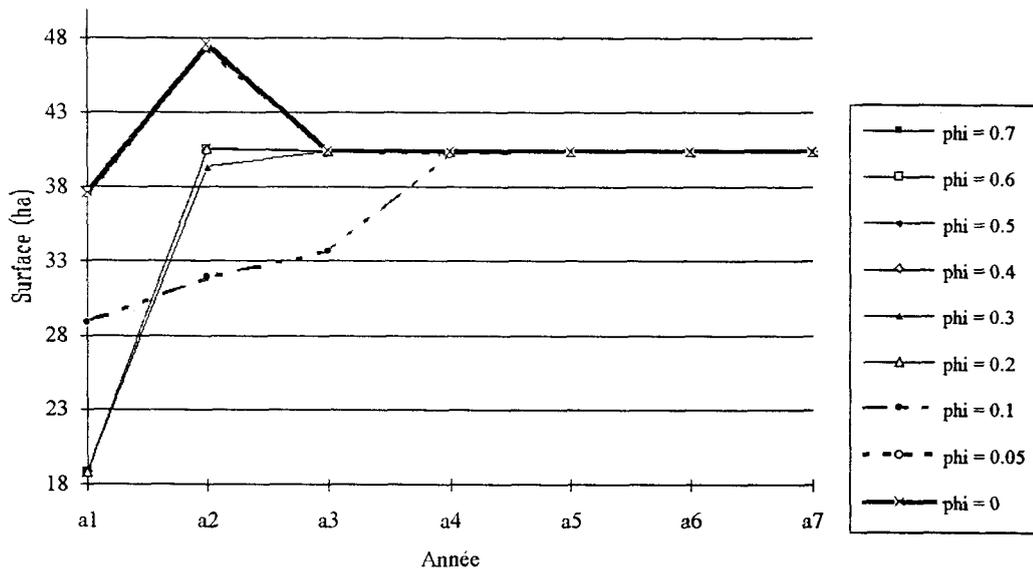
Ainsi, en dehors du cas où le paramètre d'aversion au risque est nul, cas pour lequel le revenu espéré est très nettement supérieur, les différences de revenu observées pour diverses valeurs de  $\Phi$  comprises entre 0,05 et 0,7 montrent que très vite le coefficient n'influence plus le montant de revenu espéré, ceci parce que les autres contraintes du modèle deviennent prépondérantes et réduisent la variabilité des résultats. Pour les plus petites valeurs de  $\Phi$ , les revenus calculés sont intermédiaires pour la première année, puis atteignent des niveaux proches du seuil observé pour un coefficient supérieur à 0,2 (graphique 5).

Graphique n°5 : Sensibilité du revenu à la variation du paramètre d'aversion au risque



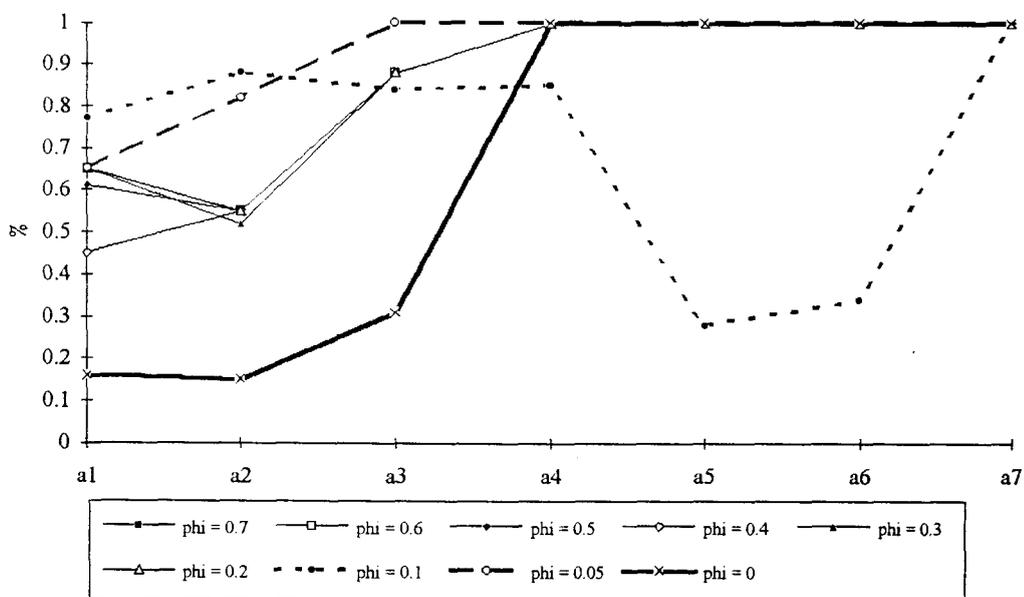
L'importance du blé dans l'assolement est d'autant plus forte au départ que le coefficient  $\phi$  est faible. Ce sont ces niveaux et évolutions différents qui ont permis de choisir une valeur de  $\phi$  compatible avec les tendances observées dans la réalité. En cela,  $\Phi$  est un paramètre de calibration. Cependant, à terme, tous les scénarios d'aversion s'équilibrent autour d'une même valeur moyenne et le modèle présente une stabilité certaine (graphique 6).

Graphique n°6 : Evolution sur 7 ans de la culture du blé en fonction du paramètre d'aversion au risque.



La relative stabilité du revenu pour des coefficients d'aversion différents, repose sur la possibilité pour le modèle d'adapter les solutions productives, notamment au niveau des techniques de production. Ainsi, l'importance du recours à la technique dite "intensive raisonnée" fluctue selon les niveaux d'aversion (graphique 7).

Graphique n°7 : Evolution sur 7 ans de la part relative de la technique "intensive raisonnée" selon différents niveaux d'aversion au risque



En conclusion, la réforme de la P.A.C. décidée en 1992, représente une véritable rupture de tendance. Les mesures socio-économiques mises en place devraient freiner la course à la production et inciter aux économies d'inputs, l'Union Européenne préférant soutenir une agriculture moins productrice de stocks, moins gourmande en fonds de soutien et plus respectueuse de l'environnement.

La modélisation agronomique par E.P.I.C. d'itinéraires techniques substituables a permis de construire la fonction de production agricole d'une exploitation de céréales-grandes cultures représentative du Haut Pays d'Artois et de proposer un horizon technique d'adaptation pour faire face à la modification des règles d'échange engendrés par la réforme de la P.A.C. La connaissance des pertes de nitrates associées à la production végétale offre un critère de jugement supplémentaire quant aux itinéraires utilisés.

L'information technique ainsi disponible est reprise dans le modèle mathématique de programmation linéaire pour représenter le nouvel environnement socio-économique de l'exploitation. L'hypothèse de base est que l'agriculteur maximise une utilité espérée sous certaines contraintes physiques, financières et de risque. Le modèle détermine ainsi l'emblavement optimal en fonction du précédent, du sol et de la technique, et optimise les ressources de travail, d'équipement, de terre et de crédit. La variabilité des rendements, des prix et des primes annoncés est introduite pour représenter le risque endogène à l'activité. La propre aversion au risque de l'agriculteur étant considérée de manière exogène. Le modèle construit ici, est monopériodique par année et récursif.

La construction et la validation des modèles agronomique et économique peuvent apparaître longues et délicates. En effet, il s'agit de bâtir une représentation fine et spécifique des réalités pédo-climatiques, agronomiques, économiques et financières d'une exploitation<sup>22</sup> et de tester la fiabilité des évolutions socio-économiques constatées. De plus, l'intérêt de l'exercice repose, en grande partie, sur la modélisation d'itinéraires culturels réalistes mais non encore pratiqués dans la réalité, comme horizon d'adaptation possible aux changements de politiques. Cette étape essentielle justifie une collecte importante d'informations auprès de la profession.

Quant aux résultats, la simulation entre 1991 et 1996 de la réforme de la P.A.C. dans le Haut Pays d'Artois montre que l'on devrait assister au maintien du revenu issu de l'activité végétale alors que l'activité animale perdrait de sa rentabilité. La production de blé tendre et le recours à des façons culturales plus extensives devraient s'amplifier. On constaterait ainsi une baisse des apports d'engrais azotés et une diminution des pertes de nitrates vers les nappes phréatiques.

Cette première illustration montre comment les modèles bio-économiques peuvent d'abord s'inscrire comme des outils d'évaluation économiques des techniques de production. Dans le contexte actuel d'une plus grande attention portée à la sauvegarde des ressources naturelles, il apparaît intéressant de disposer d'un tel outil pour concilier à la fois les intérêts économiques et écologiques, ou du moins, pour déterminer parmi plusieurs techniques, celles qui apparaissent les plus efficaces de ce double point de vue.

L'application au Haut Pays d'Artois montre aussi que l'on dispose, avec la modélisation bio-économique, d'un outil d'évaluation microéconomique des politiques agricoles et

---

<sup>22</sup> Choisie ici pour sa représentativité régionale.

d'environnement. L'étude d'autres régions agricoles issues des grands bassins de production français permettra d'apprécier la capacité de cette méthodologie à représenter de multiples situations socio-économiques et à donner une image réaliste des conséquences probables de la réforme de la P.A.C., notamment en termes de régulation de l'offre, d'harmonisation des revenus et de préservation des actifs naturels.

## IV

# L'IMPACT ECONOMIQUE ET ECOLOGIQUE DE LA REFORME DE LA P.A.C.

---

L'objectif de ce chapitre est d'étendre l'utilisation des modèles bio-économiques à l'échelle d'autres régions agricoles françaises, dans le cadre précis de la réforme de la P.A.C. et d'analyser la capacité de cet outil à reproduire et même anticiper les comportements des acteurs économiques et les évolutions des techniques de production.

Nous procéderons donc successivement à la modélisation d'exploitations de référence, tirées de la réalité, des régions suivantes : Beauce, Lauragais, Côteaux du Gers, Vallées et Terrasses de Haute Garonne, Artois et Barrois. Directement concernées par la réforme de la P.A.C. car formant quelques uns des principaux bassins français de production de "céréales-grandes cultures", ces régions présentent des différences structurelles importantes. Elles constituent donc un ensemble intéressant pour apprécier à la fois les conséquences probables de la réforme sur l'offre agricole et la sensibilité des modèles bio-économiques à les mettre en relief.

La démarche adoptée pour chacune des six régions est identique à celle employée pour l'étude du Haut Pays d'Artois. Nous ne présenterons donc que les principaux éléments de la modélisation et les résultats observés.

## SECTION I : APPLICATION A LA BEAUCE

La Beauce est la région qui se situe au nord et au centre du Bassin Parisien, entre la Seine et la Loire. Elle se trouve à peu près entre 47 et 48 ° de latitude nord et 0,5 et 2,5 ° de longitude est. En fait, l'étendue de la plaine est délimitée par les villes qui l'entourent.

La Beauce présente des caractéristiques naturelles d'une grande homogénéité.

D'un point de vue administratif, cette région couvre partiellement 4 départements : l'Eure-et-Loir, le Loiret, l'Essonne et les Yvelines. Respectivement pour 63 %, 23 %, 11,5 % et 2,5 % de la S.A.U.

Carte 1 : La Beauce



Cette grande région agricole présente deux caractères importants :

- La production céréalière de la Beauce est majeure dans la production française : sur 2 % de la surface nationale, la Beauce produit 10 % de la production française annuelle.
- Le haut degré de spécialisation dans la production de céréales. La Beauce fait partie à ce titre des régions céréalières les plus spécialisées d'Europe. Ainsi, les céréales couvrent 74 % des surfaces labourables, sont produites par 94 % des exploitations beauceronnes. Pour 91 % d'entre elles, la production de céréales est la production dominante qui mobilise quasiment l'ensemble des forces productives.

L'exploitation réelle qui va servir de référence à la modélisation bio-économique s'étend sur 219 hectares, et fait donc partie des 3 % des exploitations de la Beauce dont la superficie est comprise entre 200 et 300 ha (Recensement Agricole, 1988). Elle se situe donc plus près de la ferme beauceronne dominante que moyenne.

Sur ces 219 ha, 26 sont en propriété et 193 en fermage, soit respectivement, 12 et 88 % de la S.A.U. (en Beauce, ces valeurs sont en moyenne de 29 et 71 %).

La main-d'oeuvre se compose de deux salariés permanents. Le chef de l'exploitation, très peu présent sur l'exploitation n'est pas comptabilisé. Ce qui représente 0,009 travailleur à l'hectare. Avec deux travailleurs permanents, cette exploitation se situe dans la moyenne de la Beauce, même si la structure de cette main-d'oeuvre est différente.

Le parc des matériels correspond à celui des exploitations beauceronnes les plus grandes. Les tracteurs sont d'une puissance supérieure à la moyenne. Ils se répartissent comme suit :

- un tracteur de 180 cv utilisé 300 heures par an ;
- un tracteur de 115 cv utilisé 300 heures par an ;
- un tracteur de 90 cv utilisé 100 heures par an ;
- un tracteur de 80 cv utilisé 50 heures par an.

Avec quatre tracteurs, soit : 2,1 cv/ha, et une moissonneuse-batteuse, cette exploitation est également représentative de l'exploitation dominante de Beauce (2 cv/ha).

Quant à l'activité, le tableau 1 compare les surfaces de l'exploitation de référence à celles rencontrées en moyenne en Beauce en 1988. On notera l'absence des betteraves sucrières qui en Beauce couvrent 5,6 % de la S.A.U. Tous les agriculteurs ne produisant évidemment pas chacun toutes les cultures présentes en Beauce, ceci pose le problème d'utiliser les surfaces moyennes comme base de comparaison de la représentativité de l'exploitation de référence.

Tableau 1  
Emblavements de l'exploitation modélisée

Cultures Principales	Surfaces (ha)		% de la S.A.U. RGA* 1988
	1991	% de la S.A.U.	
Blé tendre	113	51,7	44,3
Orge	34	15,5	9,9
Maïs	23	10,5	9,5
Tournesol	11	5	4,5
Pois	29	13,2	13,2
Colza	9	4,1	3,5
S.A.U.	219		

\* RGA : Recensement Général de l'Agriculture

Cette exploitation n'a pas d'activité d'élevage.

## I.1 LA MODELISATION BIO-ÉCONOMIQUE

### I.1.1 LA MODELISATION AGRONOMIQUE

La démarche adoptée pour la modélisation du Haut Pays d'Artois est reprise ici pour la Beauce. Les données pédo-climatiques nécessaires sont issues de la station météorologique de Chartres et des travaux de Carmen VICIEN (1989).

Quatre techniques matérialisent les possibilités d'adaptation qui s'offrent à l'exploitant pour faire face à la réforme de la P.A.C. La technique n°3, dite "intensive raisonnée", est la technique de référence, c'est à dire tirée de la réalité, et a donc servi à calibrer le modèle E.P.I.C. Les trois autres ont été construites à partir de celle-ci, en en faisant varier le degré d'intensification.

Tableau 2  
Comparaison des rendements (qx) calculés par EPIC et les rendements réels de la Beauce

Cultures	Beauce, exploit référ	EPIC (techn 3)
Blé	90	89.6
Orge	71	69.4
Tournesol	32	34
Pois	62	64.4
Colza	37	36

Le degré d'intensification des pratiques culturales se raisonne à deux niveaux : d'une part, les doses d'engrais épandues, influant directement sur les rendements et sur les charges financières ; d'autre part, les dépenses en semences et produits phytosanitaires.

Tableau 3  
Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques (en kg /ha)

Cultures	Technique n°4		Technique n°3		Technique n°2		Technique n°1	
	N (kg/ha)	P (kg/ha)						
Blé	220	70	180	70	160	70	140	70
Orge	-	-	110	70	90	70	-	-
MAÏS (*)	200	40	150	30	150	40	115	40
Tournesol	-	-	80	60	60	50	-	-
Pois	-	-	0	47	0	47	-	-
Colza	200	47	180	47	160	47	-	-

(\*) les techniques 4 et 3 sont irriguées pour le maïs

Tableau 4  
Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements

Cultures	Technique n°4		Technique n°3		Technique n°2		Technique n°1	
	Semis	Traitement	Semis	Traitement	Semis	Traitement	Semis	Traitement
Blé	286.7	1 127.4	286.7	1 127.4	182.1	818.8	182.1	818.8
Orge	-	-	357.6	1 042.1	222.7	696.7	-	-
MAÏS	670	275.5	670	275.5	429.1	275.5	429.1	275.5
Tournesol	-	-	703	553.9	449.9	553.9	-	-
Pois	-	-	473.2	1 027	473.2	790.8	-	-
Colza	258	889.9	258	889.9	165.1	787.0	-	-

La réduction des charges en traitements phytosanitaires correspond à l'élimination des réducteurs de croissance et de certains fongicides dans la conduite des itinéraires culturaux. En revanche, ni les insecticides, ni les herbicides n'ont été réduits dans les techniques plus extensives.

Tableau 5  
Récapitulatif des rendements moyens sur 5 ans des monocultures

Monocultures	Rendements moyens sur 5 ans (qx/ha)			
	Technique 4	Technique 3	Technique 2	Technique 1
Blé	91	89,6	83	78,4
Orge	-	69,4	58	-
MAÏS	98,8	94,6	65,8	64
Tournesol	-	34	26	-
Pois	-	64,4	60,4	-
Colza	36,2	36	33,4	-

Pour simuler l'influence sur les rendements de la diminution de la densité de semis et la réduction de certains traitements, nous avons procédé, pour les techniques simulées les plus extensives (techniques 1 et 2), à la baisse arbitraire des rendements de la cinquième année selon les règles mentionnées ci-dessous :

Cultures	Baisse des rendements la 5 <sup>e</sup> année (qx)	
	Techn. 2	Techn. 1
Blé	20	20
Orge	20	-
MAÏS	-	-
Tournesol	10	-
Pois	20	-
Colza	10	-

### I.1.2 LE MODÈLE MATHÉMATIQUE

Le modèle d'optimisation mathématique réalisé dans le cadre de la Beauce est identique dans sa démarche à celui du Haut Pays d'Artois : modèle annuel et récursif qui optimise l'assolement et l'accès aux marchés des facteurs sous des contraintes de structure foncière, de précédents culturaux, de ressources d'équipement, de main d'oeuvre et financières, et sous contrainte de risque. Cependant, toute la modélisation relative à l'activité d'élevage n'est évidemment pas reprise.

## I.2 LES RESULTATS DE LA SIMULATION

Avant de présenter les résultats, il convient de rappeler les paramètres et les conditions initiales du modèle empirique.

En début de période, la structure foncière est de 219 ha dont 88 % sont en faire-valoir indirect. L'équipement se compose de quatre tracteurs de puissance respective de 180, 115, 90 et 80 cv et d'une moissonneuse-batteuse. Cette exploitation n'irrigue pas, par contre les techniques disponibles modélisées en offrent la possibilité pour la culture du maïs. Le travail est assuré par deux salariés permanents à plein temps. Les coûts fixes (y compris la charge foncière sur la S.A.U. initiale et les amortissements des machines) sont évalués à 535 000 F. Le montant maximum de crédit à court terme supplémentaire est de 250 000 F, l'endettement initial est de 750 000 F dont 500 000 F pour les emprunts à moyen et long terme alors que l'épargne démarre à 400 000 F. Le revenu familial annuel est fixé à 144 000 F. Les simulations sont établies sur des périodes de six ans (deux avant la réforme, quatre ans après).

Dans le cas de la Beauce, les résultats obtenus sont établis dans le cadre d'une S.A.U. bloquée à sa valeur d'origine en laissant libre le recours aux services de matériel et de main-d'oeuvre.

Différents scénarios d'aversion au risque ont été testés. Les résultats qui sont présentés ici correspondent à un coefficient  $\Phi$  de 0,5.

### I.2.1 VALIDATION DES RESULTATS

Tableau 6  
Comparaison de l'évolution de l'emblavement entre 1992 et 1993

%	Données réelles Eure et Loir			Résultats modèle Beauce		
	1992	1993	écart	1992	1993	écart
Céréales d'hiver	68	74	9	45	66	44
Céréales d'été	9	5	-46	27	19	-27
Céréales	77	79	2	72	85	18
Oléagineux	7	5	-39	8	0	-100
Protéagineux	15	16	7	20	0	-100

## II.2.2 LES RESULTATS

L'application de la double méthodologie sur une exploitation représentative de la Beauce montre que :

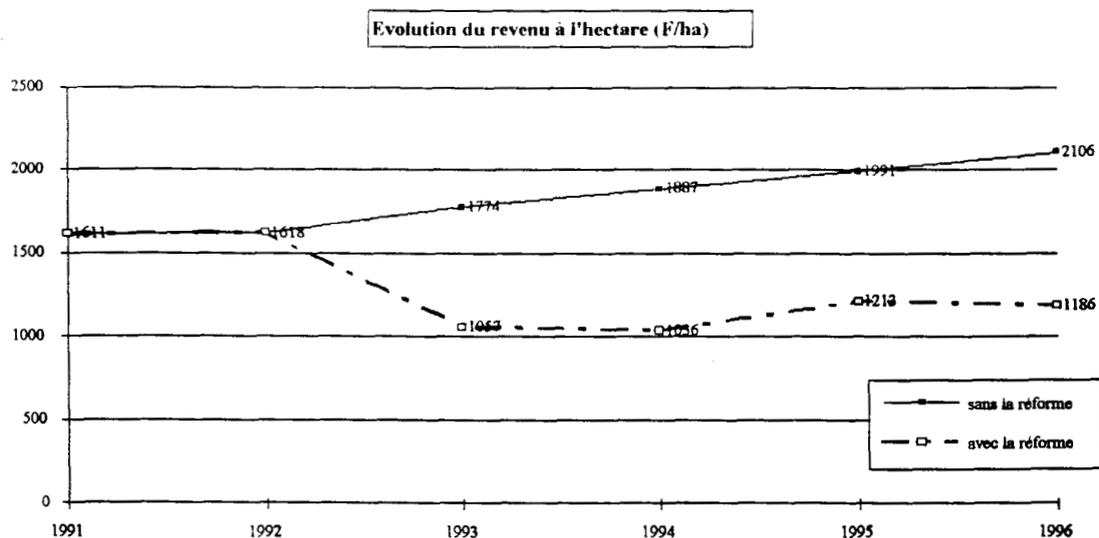
- Les revenus à l'hectare devraient décroître suite à l'adoption de la réforme de la P.A.C. de près de 30 % pour se stabiliser ensuite autour de 1 000 F/ha et augmenter à nouveau à partir de 1995, avec la structure de prix modélisée ici (graphique 1). Dans la réalité, on observe en moyenne, sur le plan national, une hausse du revenu à l'hectare entre 1992 et 1993 pour les classes d'OTEX céréales grandes cultures. Ces résultats, en contradiction avec le modèle s'expliquent par le fait qu'en 1993, les prix de vente des récoltes se sont situés au-delà des prix espérés (ceux là même qui ont servi de base de calcul dans la modélisation). Dans ces conditions le modèle donne logiquement des résultats inférieurs à ceux obtenus dans la réalité puisque dans la récursivité ont été repris comme condition initiale de l'année n (trésorerie, épargne, revenu) les résultats de l'année n-1 calculés à partir des prix et primes anticipés et non pas réels.

- Du point de vue de l'emblavement, la réforme, outre qu'elle entraîne le gel de 15 % de la surface en céréales et oléo-protéagineux, devrait renforcer la spécialisation de la Beauce en céréales d'hiver, notamment en blé tendre au détriment des pois protéagineux, et dans une moindre mesure, du maïs (Cf. graphique 2).

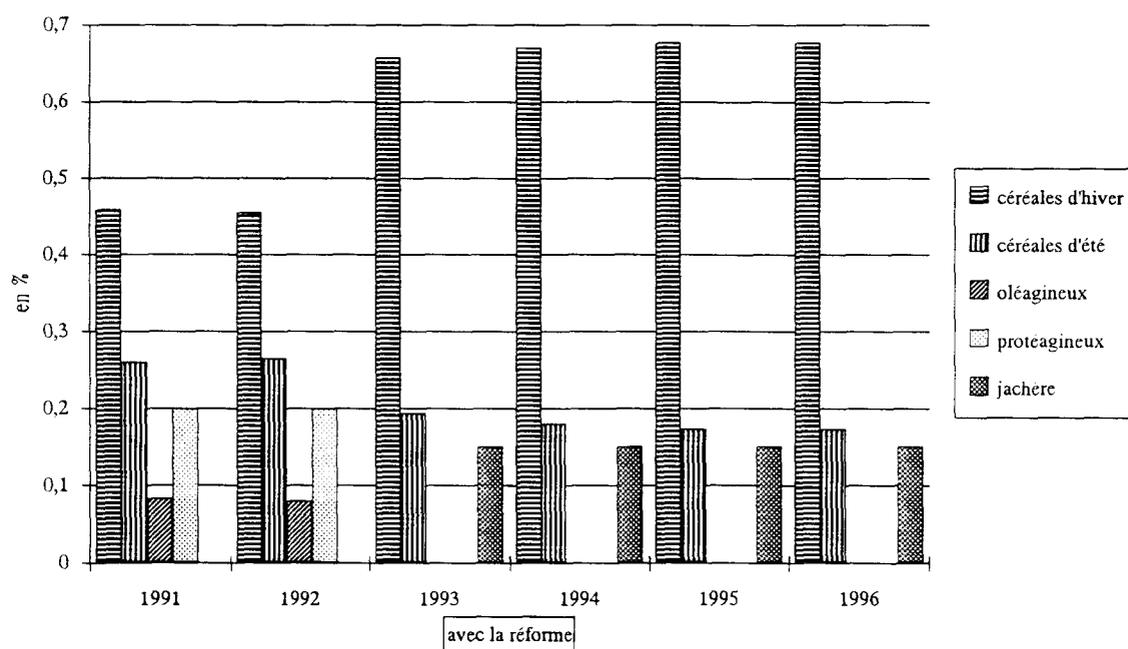
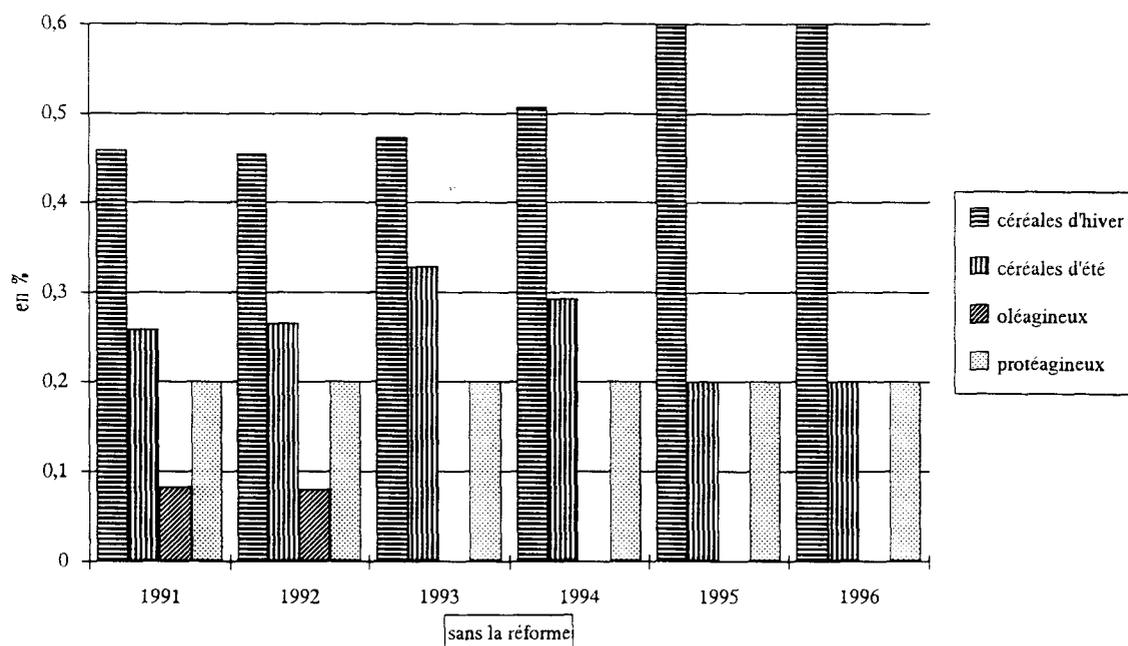
- Concernant les techniques culturales, la réforme devrait favoriser le recours à des techniques moins intensives (passage de techniques intensives raisonnées à des techniques extensives raisonnées (Cf. graphique 3). Cette évolution a pour conséquence directe, la diminution des quantités d'azote apportées (-1800 kg en 1994, -4000 kg en 1995, -3300 kg en 1996). De plus, il semblerait également que les pertes totales d'azote par lessivage et ruissellement diminuent avec la réforme (graphique 4).

- Enfin, la baisse des surfaces en maïs et le choix de techniques non irriguées expliquent que la réforme devrait entraîner la diminution de la part des surfaces irriguées (graphique 5).

Graphique n°1 : le revenu

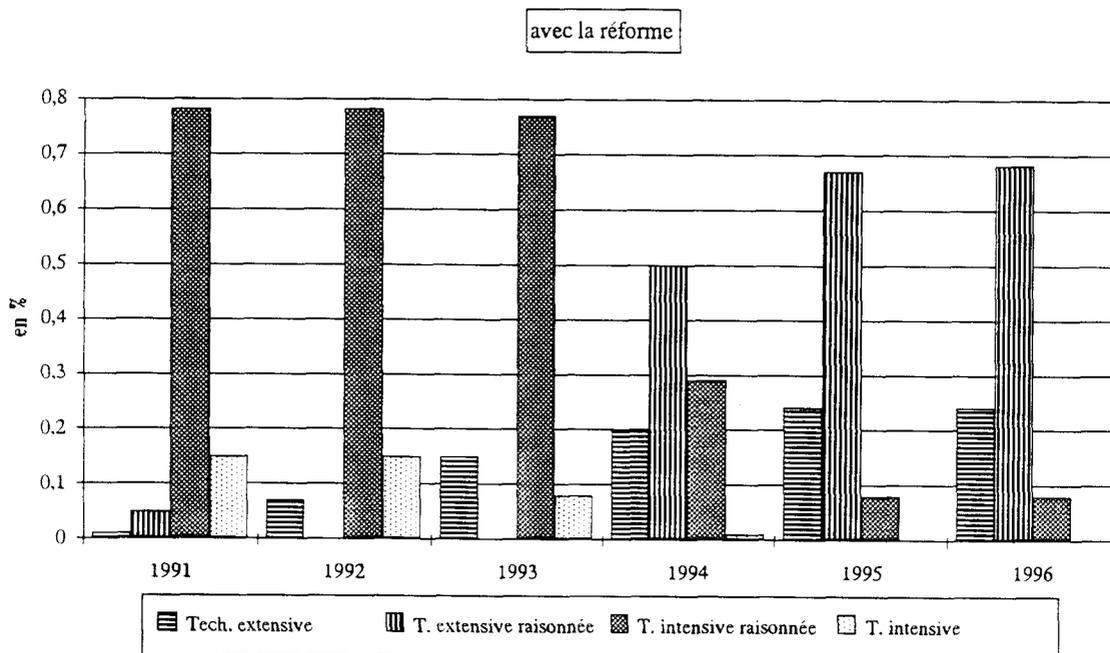
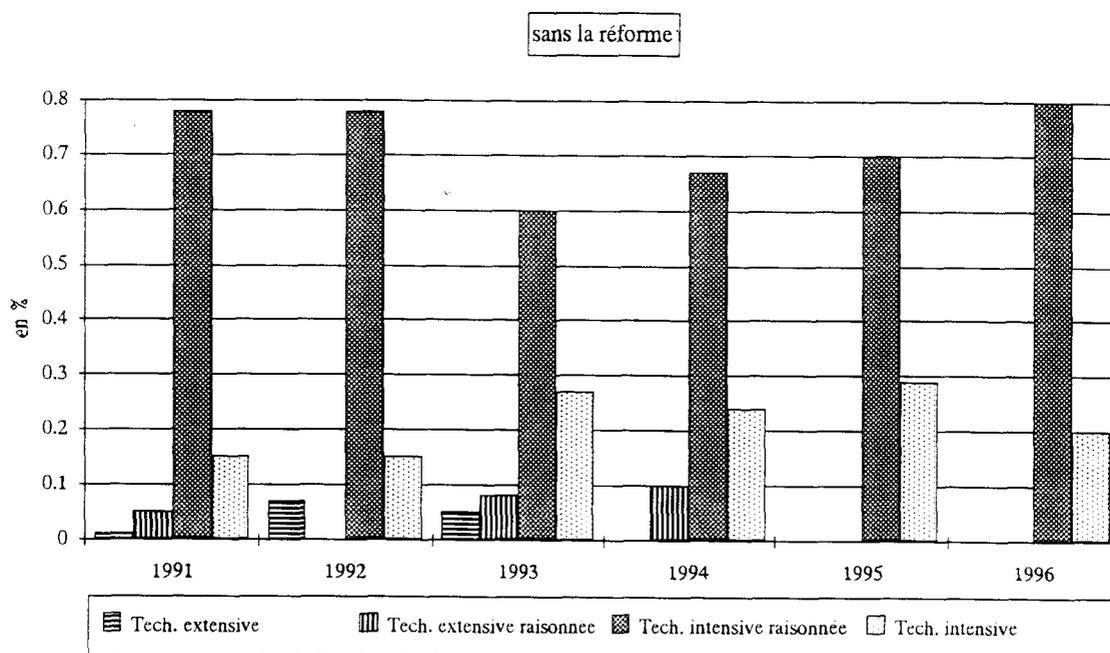


Graphique n°2 : l'emblavement



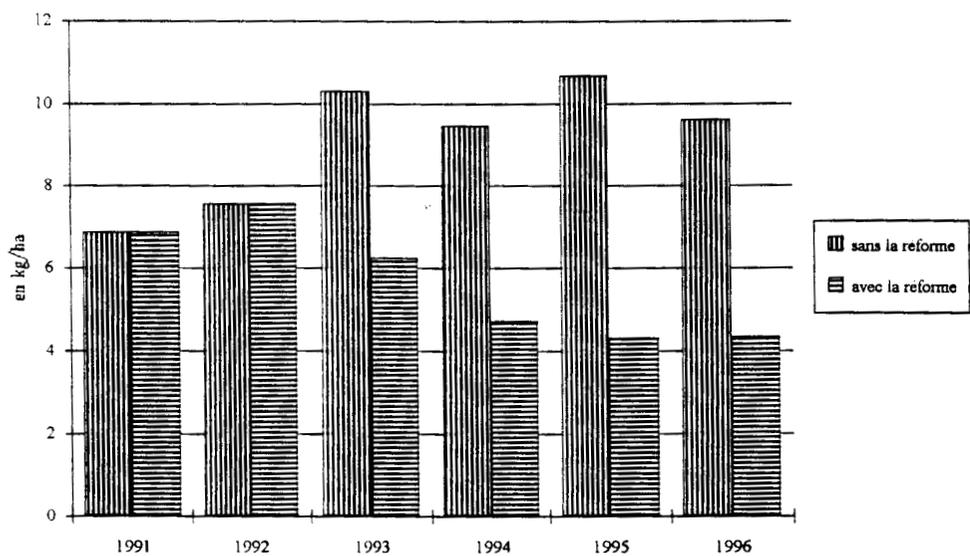
		1991	1992	1993	1994	1995	1996
Céréales d'hiver	<i>Sans la réforme</i>	45 %	45 %	46 %	50 %	60 %	60 %
	<i>Avec la réforme</i>	45 %	45 %	66 %	67 %	67 %	67 %
Céréales d'été	<i>Sans la réforme</i>	27 %	27 %	32 %	29 %	20 %	20 %
	<i>Avec la réforme</i>	27 %	27 %	19 %	18 %	18 %	18 %
Oléagineux	<i>Sans la réforme</i>	8 %	8 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	<i>Avec la réforme</i>	8 %	8 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Protéagineux	<i>Sans la réforme</i>	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
	<i>Avec la réforme</i>	20 %	20 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Graphique n°3 : les techniques

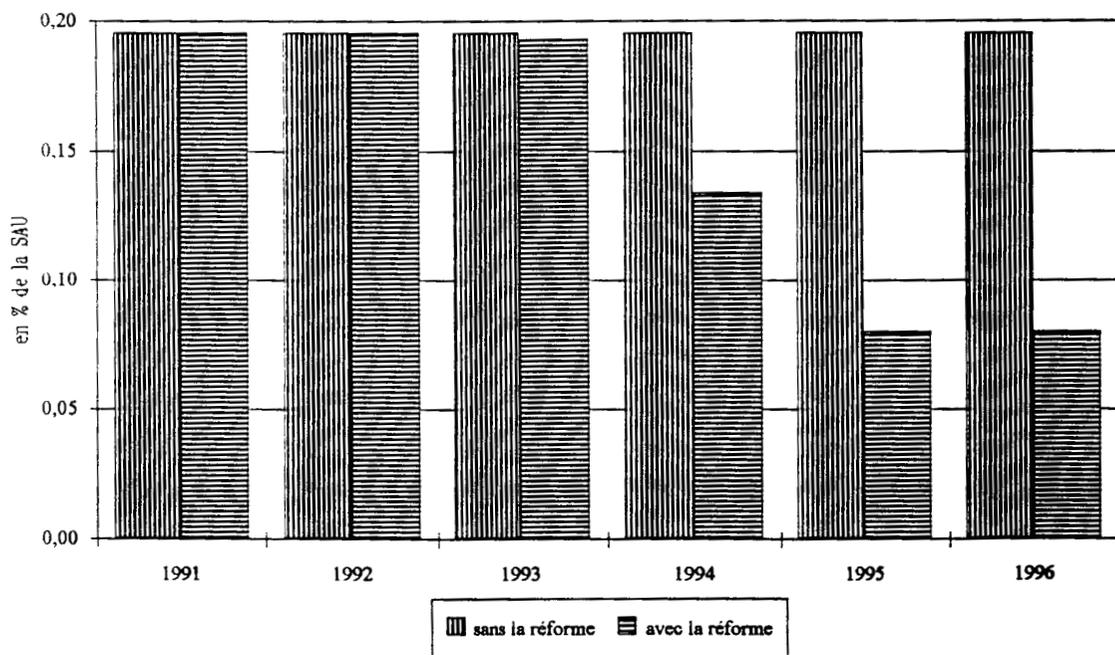


		1991	1992	1993	1994	1995	1996
T. extensive	<i>Sans la réforme</i>	1 %	7 %	5 %	0 %	0 %	0 %
	<i>Avec la réforme</i>	1 %	7 %	15 %	20 %	24 %	24 %
T. extensive raisonnée	<i>Sans la réforme</i>	5 %	0 %	8 %	10 %	0 %	0 %
	<i>Avec la réforme</i>	5 %	0 %	0 %	50 %	67 %	68 %
T. intensive raisonnée	<i>Sans la réforme</i>	78 %	98 %	60 %	67 %	70 %	80 %
	<i>Avec la réforme</i>	78 %	98 %	77 %	29 %	8 %	8 %
T. intensive	<i>Sans la réforme</i>	15 %	15 %	27 %	24 %	29 %	20 %
	<i>Avec la réforme</i>	15 %	15 %	8 %	1 %	0 %	0 %

Graphique n°4 : les pertes totales d'azote



Graphique n°5 : la part des surfaces irriguées



**SECTION II : APPLICATION AU LAURAGAIS,  
AUX CÔTEAUX DU GERS ET  
AUX VALLÉES ET TERRASSES DE HAUTE-GARONNE**

Située entre les premiers reliefs du Massif Central et des Pyrénées, la région Midi-Pyrénées s'étend sur huit départements : Haute-Garonne, Ariège, Gers, Hautes-Pyrénées, Tarn et Garonne, Lot et Aveyron.

Carte 1 : la région Midi-Pyrénées



Par ailleurs, la région Midi-Pyrénées est divisée sur la base de critères pédo-climatiques en 61 petites régions agricoles. Chaque petite région agricole est définie par un nombre entier de communes, en fonction d'une même "vocation agricole dominante" (Carte 1).

Autour de la ville de Toulouse, trois petites régions agricoles (PRA) présentent une vocation céréalière qui fait de cette zone la deuxième région française spécialisée dans les grandes cultures (après le bassin parisien). Ces trois petites régions agricoles sont : le Lauragais, les Côteaux du Gers, les Vallées et Terrasses de la Garonne Supérieure.

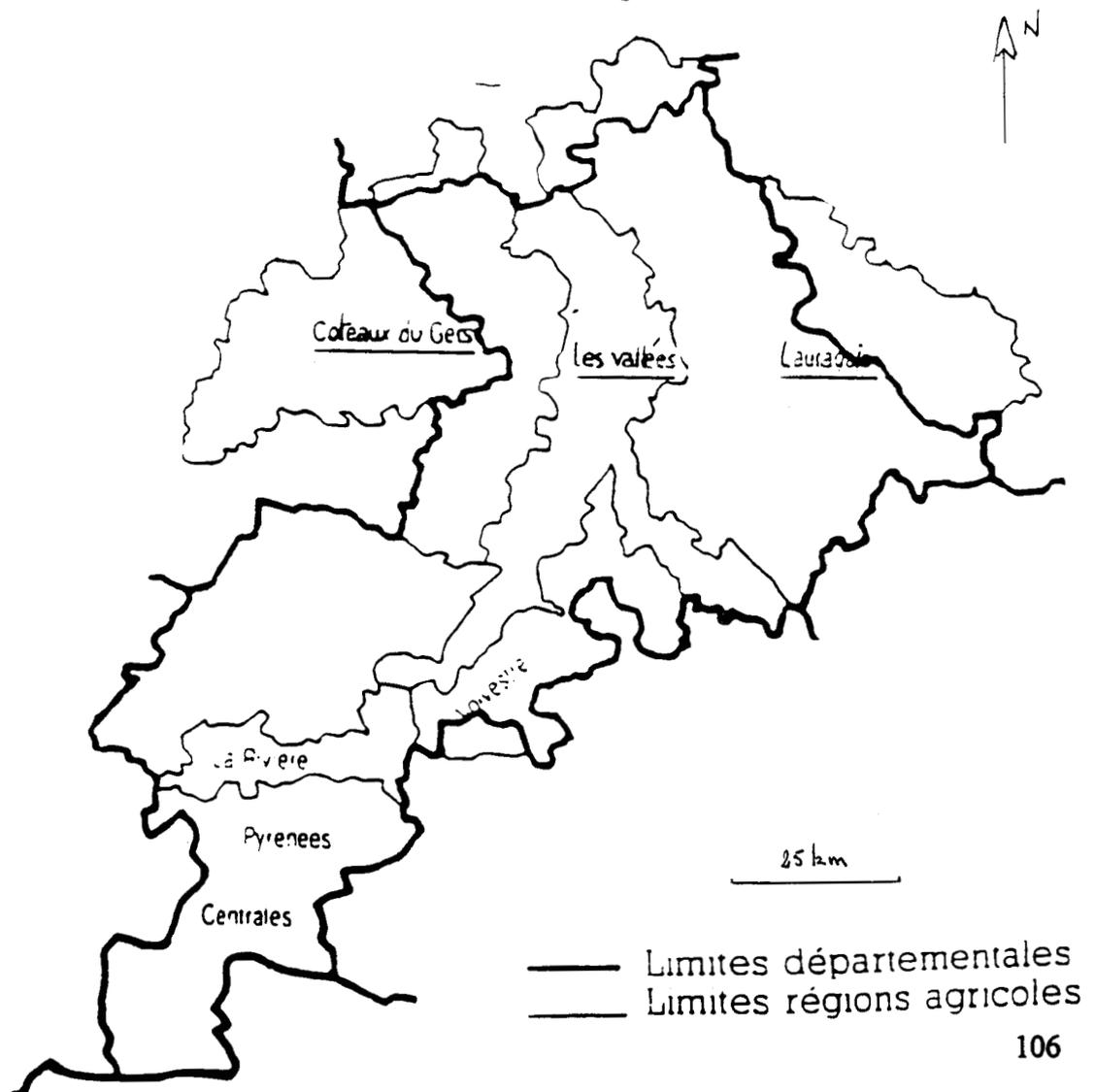
Tableau 1  
Importance de la surface en céréales et grandes cultures dans les 3 petites régions agricoles de Midi-Pyrénées (en % de la S.A.U. totale)

Petites Régions Agricoles (PRA)	1979		1988	
	Céréales	Oléo-protéa.	Céréales	Oléo-protéa.
LAURAGAIS	65%	6%	50%	27%
COTEAUX DU GERS	62%	9%	55%	25%
VALLEES ET TERRASSES	60%	4%	55%	17%

Source : RGA.88

C'est donc plus de 75% de la S.A.U. totale de cette région qui sont donc cultivés en céréales (blé tendre, blé dur, maïs, orge et sorgho) et en protéo-oléagineux (tournesol, soja, pois).

Carte 2 : La Haute-Garonne et les régions d'étude



A partir des informations du recensement agricole de 1988, 4 types d'exploitations ont été choisis comme représentatifs de la diversité des exploitations céréales et grandes cultures de la région. Les données structurelles de ces exploitations sont présentées dans le tableau 2 :

- Une petite exploitation (8 – 40 U.D.E.<sup>1</sup>) sans irrigation, du Lauragais.
- Une moyenne/grande exploitation du Lauragais avec une faible superficie irriguée.
- Une exploitation des Vallées et Terrasses, moyenne/grande, avec forte proportion de terres irriguées et un petit élevage bovin.
- Une exploitation des Côteaux du Gers, moyenne/grande avec peu d'irrigation et un élevage ovin.

Tableau 2  
Exploitations représentatives dans les trois petites régions agricoles de Haute Garonne

ATTRIBUTS	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
1. Région	Lauragais	Lauragais	Côteaux du Gers	Vallées Terrasses
2. U.D.E.	8 – 40	> 40	> 40	> 40
3 Caractérisation de l'exploitation	petite, en sec, product. végét.	moy/gde, peu irriguée, prod. végét.	moy/gde, peu irriguée, pdt. végét.+ élev.	moy/gde, irriguée, pdt. végét.+ élev.
4. S.A.U. (ha)	40	130	120	140
5. Irrigation (% SAU.)	7	12	15	47
6. Fermage (% SAU.)	32	44		47
7. Main-d'oeuvre (UTA/exploit.)				
* familial	1,00	1,50	1,80	1,70
* total	1,08	2,07	2,10	2,20
8. Tracteurs/exploit.	1,8	3,1	3,2	3,4

Mesurer la compétitivité des exploitations agricoles en utilisant des modèles de simulations technico-économiques, exige que ceux-ci soient d'abord validés à l'échelle d'une exploitation réelle de référence. Nous avons donc modélisé pour chacune des trois régions retenues, une exploitation réelle proche de l'exploitation dominante de la région, sur la base de sa structure en 1991<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Unité de Dimension Economique, calculée à partir de la marge brute de l'exploitation.

<sup>2</sup> Cette année a été choisie car elle se situe deux années avant la mise en place de la réforme de la Politique Agricole Commune.

## □ Description des exploitations de référence

Les principales caractéristiques des exploitations de référence sont les suivantes :

	Lauragais	Côteaux Gers	Vallées terrass
SAU (ha)	40	130	140
Surface irriguée (ha)	3	20	71
UTH famille	2	2	2,2
UTH salariés	0	0	0
Tracteurs	2	2	2
Moissonneuses	1	1	1

S'étendant sur deux types de sol (S1 : sol profond et S2 : sol superficiel), l'activité se répartit ainsi :

**Tableau 3**  
Emblavements (ha) des exploitations modélisées

	Lauragais				Côteaux du Gers				Vallées et Terrasses			
	S1	S2	Tot	%	S1	S2	Tot	%	S1	S2	Tot	%
Blé tendre	6		6	15	26	1	27	21	16	16	32	23
Blé dur	6		6	15	12		12	9				
Maïs					15	10	25	19	5	25	30	21
Orge	3	4	7	18	4		4	3	5	4	9	6
Soja					2	5	7	5	5	2	7	5
Tournesol	7	3	10	25	23	5	28	22	15	20	35	25
Colza	3	3	6	15	2	5	7	5	5	17	22	16
Pois	5		5	13	20		20	15	5		5	4

## II.1 LA MODELISATION BIO-ÉCONOMIQUE

### II.1.1 MODÉLISATION AGRONOMIQUE

Les données pédo-climatiques utilisées ont été collectées et introduites dans E.P.I.C. par les agronomes de l'INRA de Toulouse, qui ont procédé à la calibration agronomique du modèle (CALBEGUENNE M., DEBAEKE P., 1993).

Trois techniques constituent l'horizon d'adaptation.

Tableau 4

Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques (en kg /ha)

## Sol S1

Cultures	Technique n°1		Technique n°2		Technique n°3	
	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)
Blé tendre	90	20	120	30	160	40
Blé dur	90	20	120	30	160	40
Orge	100	20	120	30	170	40
Maïs	100	20	120	30	150	150
Tournesol	30	20	50	30	100	40
Soja	0	20	0	30	0	40
Pois	0	20	0	30	0	40
Colza	70	20	90	30	110	40

## Sol S2

Cultures	Technique n°1		Technique n°2		Technique n°3	
	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)
Blé tendre	110	20	130	30	160	40
Blé dur	-	-	-	-	-	-
Orge	80	50	120	40	170	40
Maïs	-	-	120	30	200	40
Tournesol	30	40	50	40	100	40
Soja	0	40	0	40	0	40
Pois	-	-	-	-	-	-
Colza	50	20	90	60	170	40

Tableau 5

Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements

## Sol S1

Cultures	Technique n°1	Technique n°2	Technique n°3
	Semis et traitem.	Semis et traitem.	Semis et traitem.
Blé tendre	1044	1669	2320
Blé dur	1161	1889	2726
Orge	809	1822	2652
Maïs	749	2047	3309
Tournesol	536	1180	2092
Soja	724	1725	2991
Pois	1578	1578	1578
Colza	1098	1934	3662

## Sol S2

Cultures	Technique n°1	Technique n°2	Technique n°3
	Semis et traitem.	Semis et traitem.	Semis et traitem.
Blé tendre	1044	1669	2320
Blé dur	-	-	-
Orge	809	1862	2892
Maïs	-	2360	4423
Tournesol	936	1540	2572
Soja	724	1765	3239
Pois	-	-	-
Colza			

Tableau 6  
Récapitulatif des rendements moyens sur 5 ans des monocultures

Sol S1

Monocultures	Rendements moyens sur 5 ans (qx/ha)		
	Technique 1	Technique 2	Technique 3
Blé tendre	44.6	47	57,4
Blé dur	34.4	41.8	46.2
Orge	55	60.8	80.8
Maïs	41.8	79.2	90.6
Tournesol	19.8	25.6	29.6
Soja	19.6	25.6	28,4
Pois	37.8	37.8	37,8
Colza	22.6	28.4	32,6

Sol S2

Monocultures	Rendements moyens sur 5 ans (qx/ha)		
	Technique 1	Technique 2	Technique 3
Blé tendre	32.2	39.6	45.8
Blé dur	-	-	-
Orge	31.4	54	78.6
Maïs	-	59.4	103
Tournesol	7.6	13.8	20,6
Soja	13.6	25	30
Pois	-	-	-
Colza	23.8	30.6	35

II.1.2 LE MODELE MATHÉMATIQUE

La modélisation de l'environnement économique et financier de l'exploitation de référence est identique sur le fond à celle réalisée pour la Beauce.

## II.2 LES RÉSULTATS DE LA SIMULATION ÉCONOMIQUE

Avant de présenter les résultats, il convient de rappeler les paramètres et les conditions initiales des exploitations réelles qui ont servi de base au modèle empirique.

	Lauragais	Côteaux Gers	Vallées terrass
SAU	40	130	140
Surface irriguée	3	20	71
UTH famille	2	2	2,2
UTH salariés	0	0	0
Tracteurs	2	2	2
Moissonneuses	1	1	1
Frais fixes (F)	85 000	270 000	294 000
Amortissements (F)	10 000	32 500	35 000
Dettes long terme (F)	100 000	325 000	350 000
Trésorerie (F)	50 000	250 000	200 000
Prélèvements privés an (F)	72 000	144 000	144 000
Paramètre aversion risque	0,5	0,5	0,5

L'application de la double méthodologie sur ces exploitations du Sud-Ouest montre que :

- Les exploitations céréalières de la région de Toulouse devraient voir leur revenu à l'hectare relativement maintenu à terme avec la réforme de la P.A.C. (récupération progressive à partir de 1993 : Cf. graphique 1).

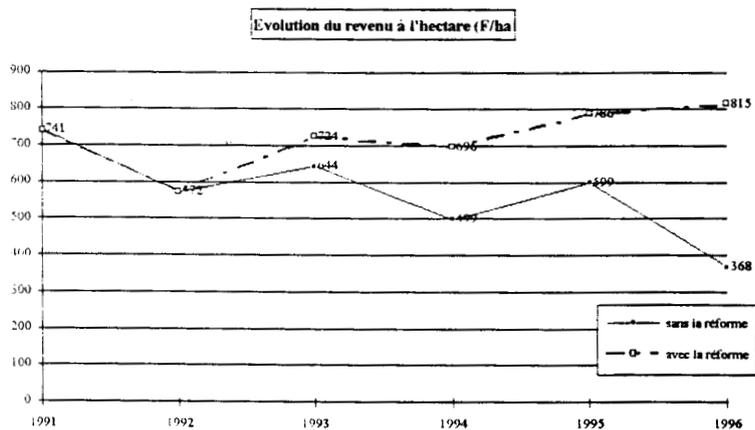
- En ce qui concerne les techniques culturales, les trois régions offrent une évolution comparable : la réforme devrait voir s'amplifier le recours à des techniques intensives raisonnées (graphique 3). Ceci se manifeste, par exemple, par une gestion plus rationnelle de l'irrigation au moyen de techniques moins utilisatrices d'eau sans empêcher l'augmentation des surfaces irriguées pour toucher les primes prévues à cet effet (voir graphique 5)

- Au niveau des productions, la réforme devrait, pour les trois régions, conduire à la prédominance des oléagineux aux dépens des céréales d'hiver ou d'été jusqu'alors prédominantes (Cf graphique 2). A part cette tendance générale, la part relative de chacune des cultures et leur évolution dans le temps varie sensiblement d'une région à l'autre.

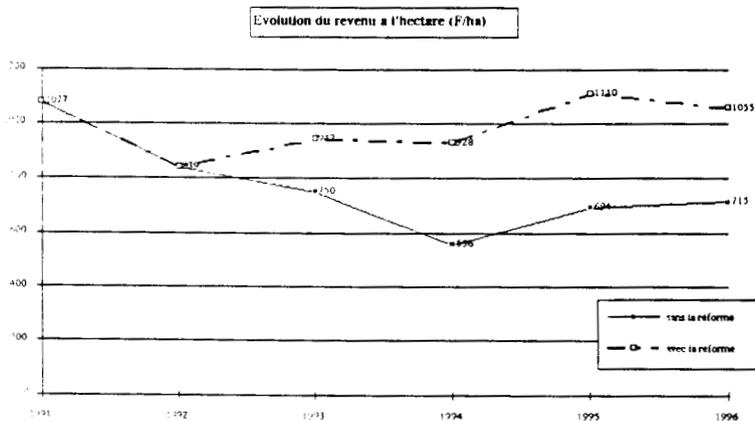
- Ces conséquences probables de la réforme devraient contribuer à diminuer sensiblement les pertes totales d'azote dans ces régions (graphique 4).

## Graphique n°1 : Le revenu

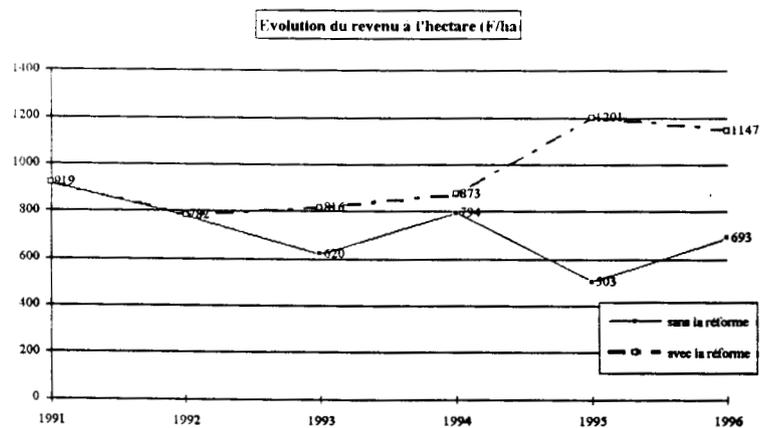
\* Lauragais



\* Côteaux du Gers

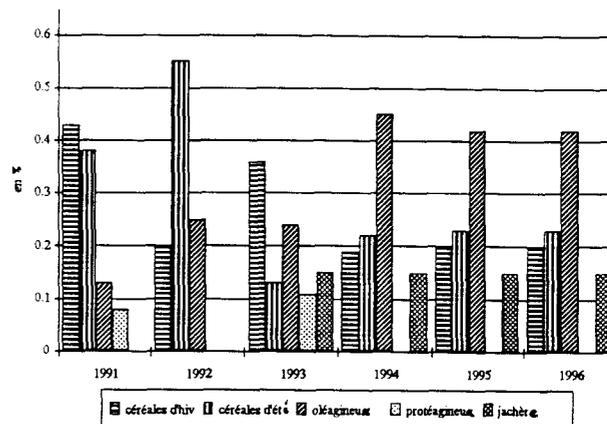
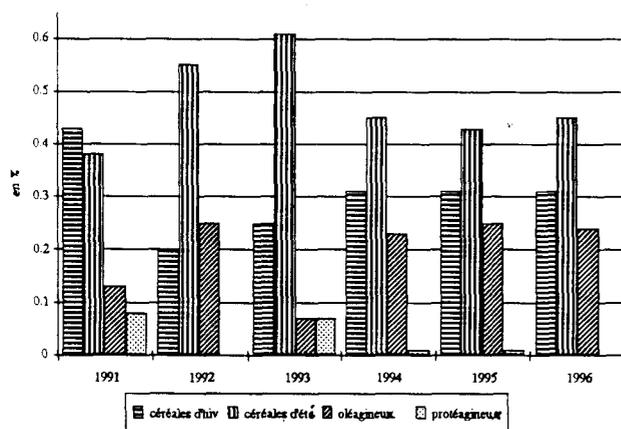


\* Vallées et Terrasses



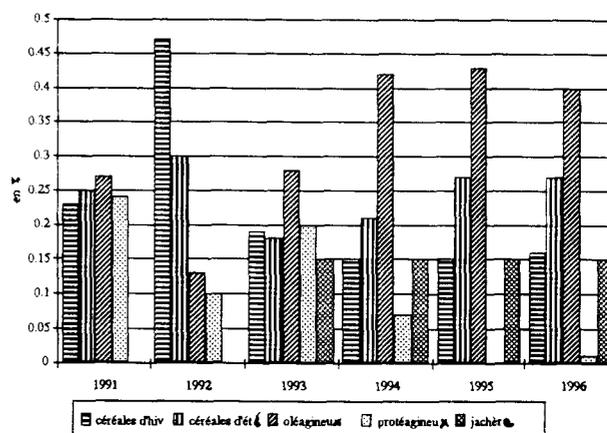
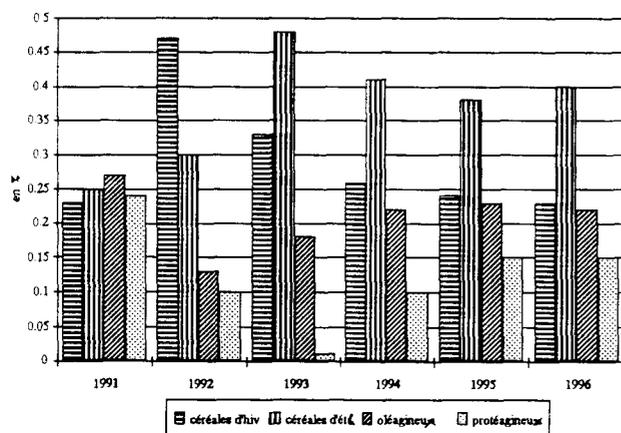
## Graphique n°2 : Evolution de l'emblavement

### \* Lauragais (sans et avec réforme)



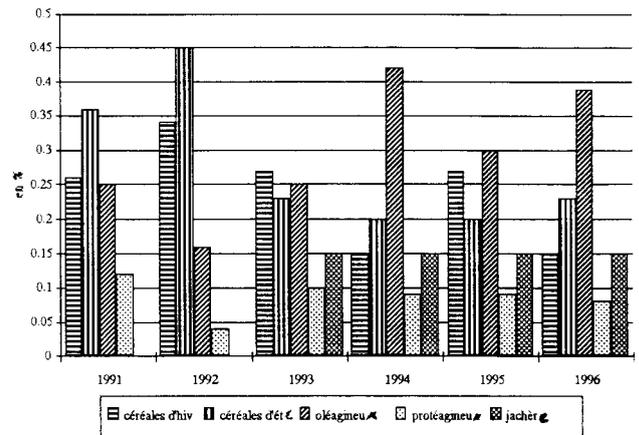
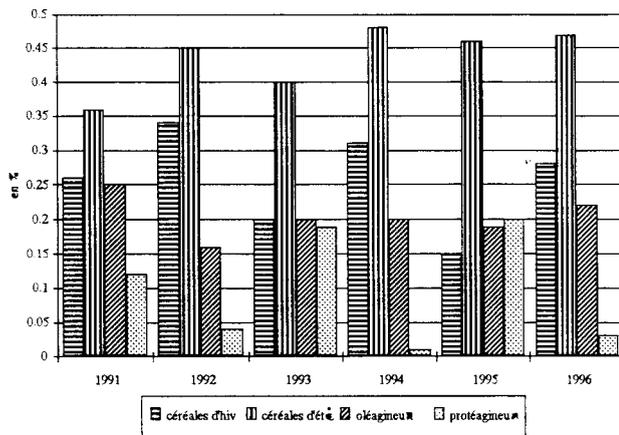
		1991	1992	1993	1994	1995	1996
Céréales d'hiver	<i>Sans la réforme</i>	43 %	20 %	25 %	31 %	31 %	31 %
	<i>Avec la réforme</i>	43 %	20 %	36 %	19 %	20 %	20 %
Céréales d'été	<i>Sans la réforme</i>	38 %	55 %	61 %	45 %	43 %	45 %
	<i>Avec la réforme</i>	38 %	55 %	13 %	22 %	23 %	23 %
Oléagineux	<i>Sans la réforme</i>	13 %	25 %	7 %	23 %	25 %	24 %
	<i>Avec la réforme</i>	13 %	25 %	224 %	45 %	42 %	42 %
Protéagineux	<i>Sans la réforme</i>	8 %	0 %	7 %	1 %	21 %	0 %
	<i>Avec la réforme</i>	8 %	0 %	11 %	0 %	0 %	0 %

### \* Côteaux du Gers (sans et avec réforme)



		1991	1992	1993	1994	1995	1996
Céréales d'hiver	<i>Sans la réforme</i>	23 %	47 %	33 %	26 %	24 %	23 %
	<i>Avec la réforme</i>	23 %	47 %	19 %	15 %	15 %	16 %
Céréales d'été	<i>Sans la réforme</i>	25 %	30 %	48 %	41 %	38 %	40 %
	<i>Avec la réforme</i>	25 %	30 %	18 %	21 %	27 %	27 %
Oléagineux	<i>Sans la réforme</i>	27 %	13 %	18 %	23 %	22 %	22 %
	<i>Avec la réforme</i>	27 %	13 %	28 %	42 %	43 %	40 %
Protéagineux	<i>Sans la réforme</i>	24 %	10 %	1 %	10 %	15 %	15 %
	<i>Avec la réforme</i>	24 %	10 %	20 %	7 %	0 %	1 %

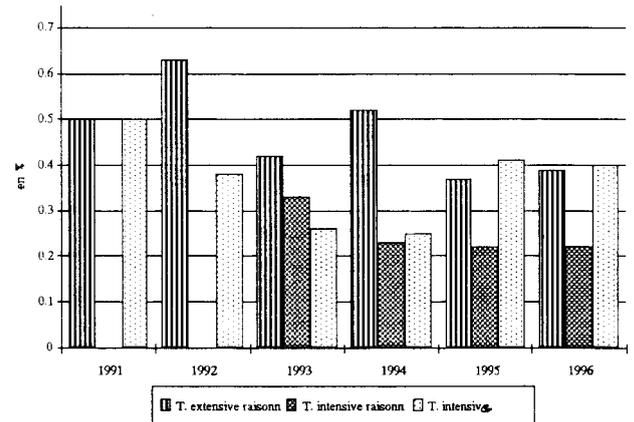
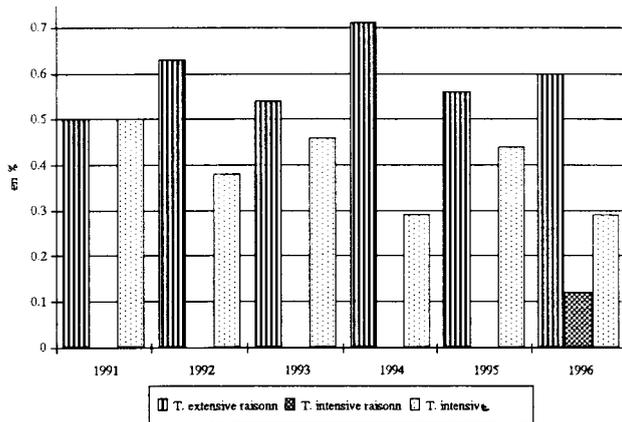
\* Vallées et Terrasses (sans et avec réforme)



		1991	1992	1993	1994	1995	1996
Céréales d'hiver	Sans la réforme	26 %	34 %	20 %	31 %	15 %	28 %
	Avec la réforme	26 %	34 %	27 %	15 %	27 %	15 %
Céréales d'été	Sans la réforme	36 %	45 %	40 %	48 %	46 %	47 %
	Avec la réforme	36 %	45 %	23 %	20 %	20 %	23 %
Oléagineux	Sans la réforme	25 %	16 %	20 %	20 %	19 %	22 %
	Avec la réforme	25 %	16 %	25 %	42 %	30 %	39 %
Protéagineux	Sans la réforme	12 %	4 %	19 %	1 %	20 %	3 %
	Avec la réforme	12 %	4 %	10 %	9 %	9 %	8 %

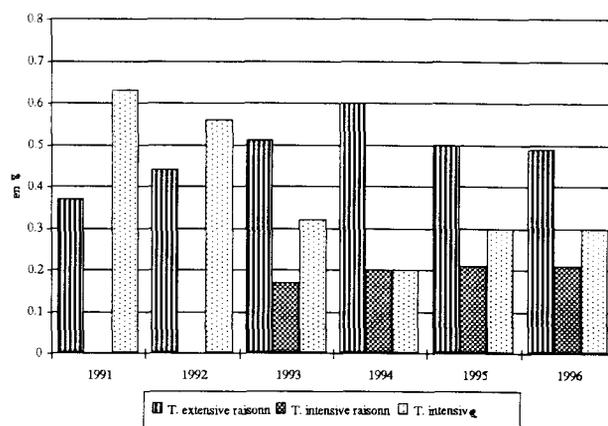
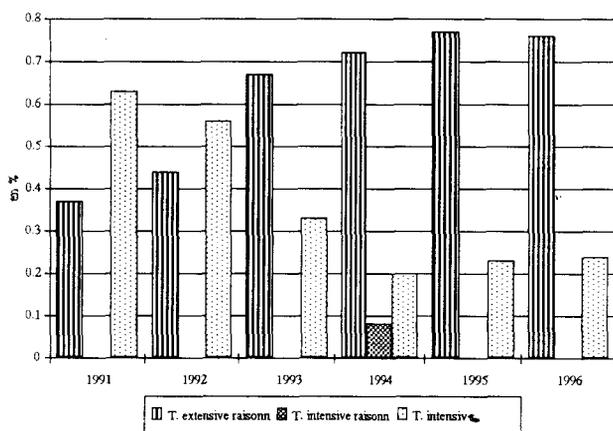
Graphique n° 3 : Evolution des techniques culturales

\* Lauragais (sans et avec réforme)



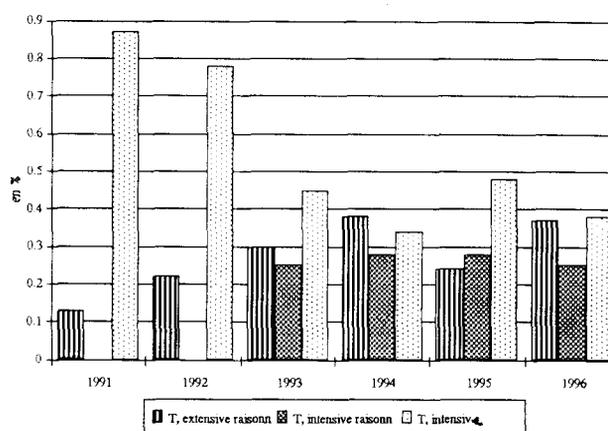
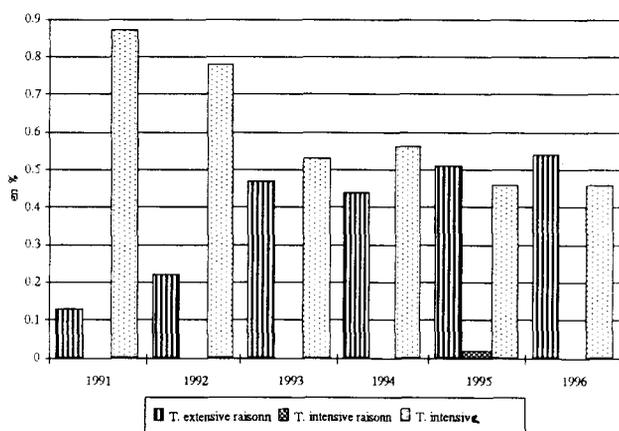
		1991	1992	1993	1994	1995	1996
T. extensive raisonnée	Sans la réforme	50 %	63 %	54 %	71 %	56 %	60 %
	Avec la réforme	50 %	63 %	42 %	52 %	37 %	39 %
T. intensive raisonnée	Sans la réforme	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	12 %
	Avec la réforme	0 %	0 %	33 %	23 %	22 %	22 %
T. intensive	Sans la réforme	50 %	37 %	46 %	29 %	44 %	29 %
	Avec la réforme	50 %	37 %	26 %	25 %	41 %	40 %

\* Côteaux du Gers (avec et sans réforme)



		1991	1992	1993	1994	1995	1996
T. extensive raisonnée	<i>Sans la réforme</i>	37 %	44 %	67 %	72 %	77 %	76 %
	<i>Avec la réforme</i>	37 %	44 %	51 %	60 %	50 %	49 %
T. intensive raisonnée	<i>Sans la réforme</i>	0 %	0 %	0 %	8 %	0 %	0 %
	<i>Avec la réforme</i>	0 %	0 %	17 %	20 %	21 %	21 %
T. intensive	<i>Sans la réforme</i>	63 %	56 %	33 %	20 %	23 %	24 %
	<i>Avec la réforme</i>	63 %	56 %	32 %	20 %	30 %	30 %

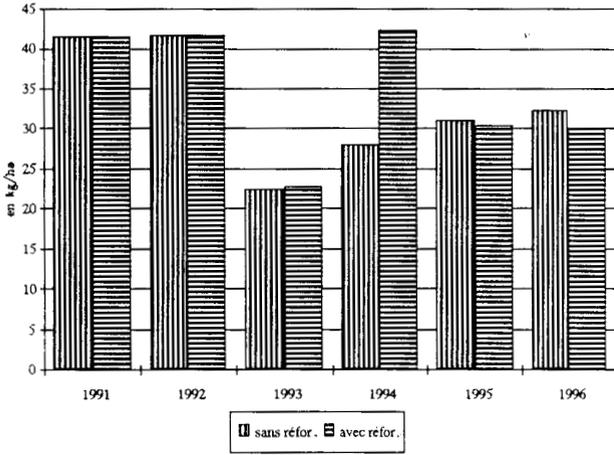
\* Vallées et Terrasses (sans et avec réforme)



		1991	1992	1993	1994	1995	1996
T. extensive raisonnée	<i>Sans la réforme</i>	13 %	22 %	47 %	44 %	51 %	54 %
	<i>Avec la réforme</i>	13 %	22 %	30 %	38 %	24 %	37 %
T. intensive raisonnée <sup>2</sup>	<i>Sans la réforme</i>	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	0 %
	<i>Avec la réforme</i>	0 %	0 %	25 %	28 %	28 %	25 %
T. intensive	<i>Sans la réforme</i>	87 %	78 %	53 %	56 %	46 %	46 %
	<i>Avec la réforme</i>	887 %	78 %	45 %	34 %	48 %	38 %

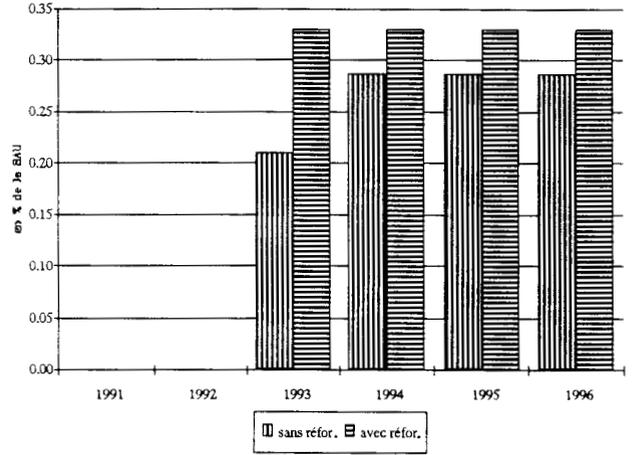
Graphique n°4 : Les pertes totales d'azote

\* Lauragais

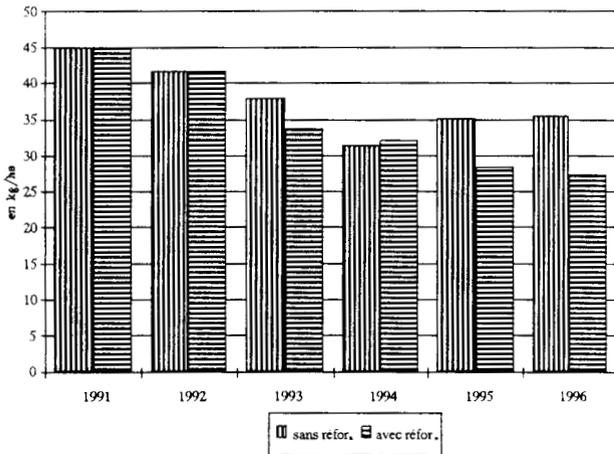


Graphique n°5 : Evolution des surfaces irriguées

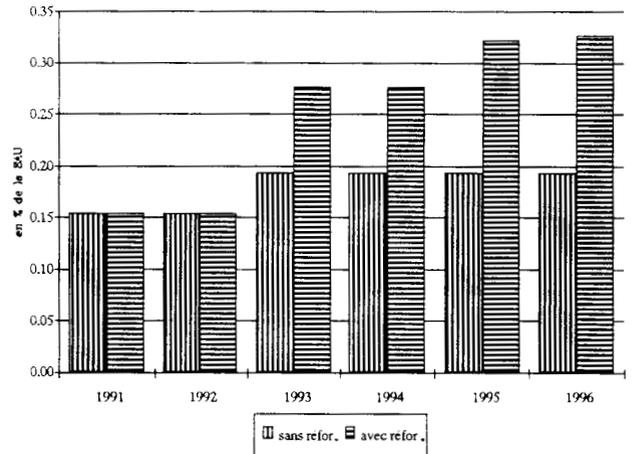
\* Lauragais



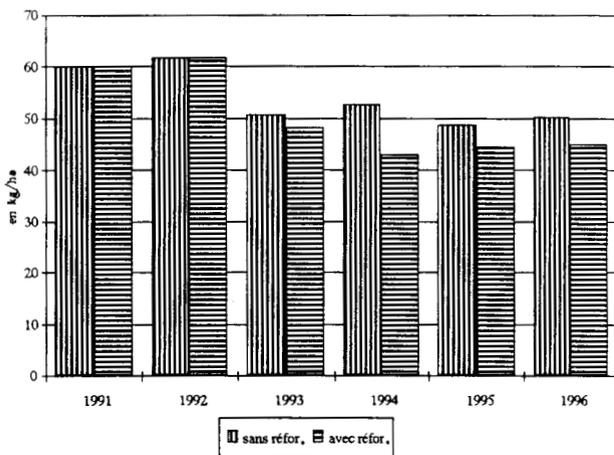
\* Côteaux du Gers



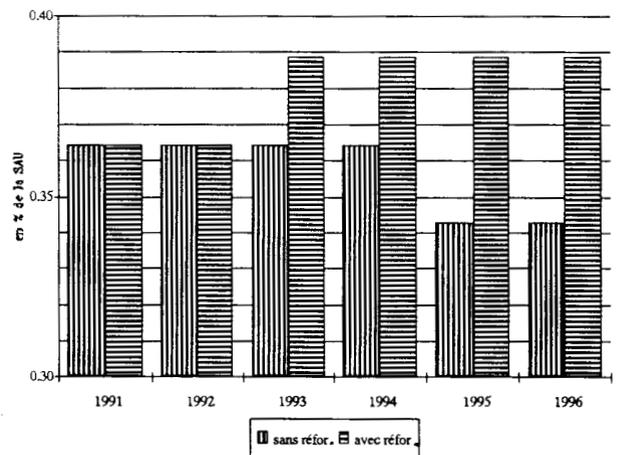
\* Côteaux du Gers



\* Vallées et Terrasses



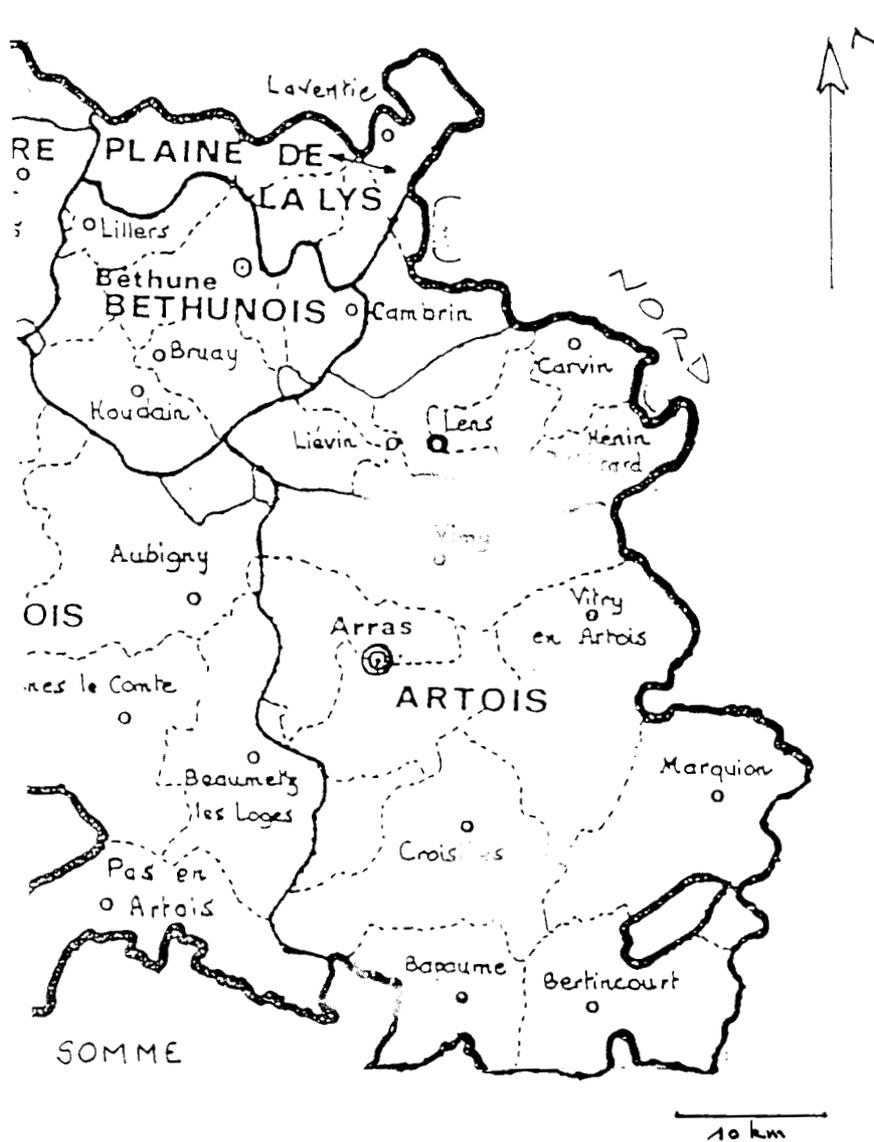
\* Vallées et Terrasses



### SECTION III APPLICATION À L'ARTOIS

La région naturelle de l'Artois est située au sud-est du département du Pas-de-Calais. Elle est bordée à l'ouest par les régions du Béthunois et du Ternois, au nord par la plaine de la Lys, à l'est par le département du Nord et au sud par le département de la Somme.

Carte 1 : L'Artois



L'Artois, en prolongement du Cambrésis, correspond à un plateau recouvert d'un épais manteau de limon découpé par quelques vallées dans lesquelles se sont accumulés des alluvions récents et variés : limons, limons argileux, tufs et tourbes. Ces alluvions et le climat ont destiné l'Artois à la culture des céréales et des plantes sarclées : betteraves sucrières, pommes de terre, légumes et endives dans le sud. Ces grandes cultures dominent largement la surface agricole utile.

La détermination des exploitations dominantes de l'Artois a été faite à partir d'un échantillon d'exploitations "céréales grandes cultures" recueilli auprès d'un centre de gestion bien implanté dans cette région. Ainsi, le quart supérieur des exploitations dégage 61 % du revenu. 42 % de ces exploitations produisent à la fois des betteraves et des pommes de terre. Celles-ci dégagent 41 % du résultat du groupe en exploitant 47 % de la S.A.U.

L'exploitation que nous avons retenue fait partie de ce groupe supérieur. Ses propres caractéristiques ainsi que celles du groupe des exploitations produisant betteraves et pommes de terre sont décrites dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Groupe	Exploitation simulée
S.A.U.	95 ha	120 ha
Céréales	44 %	43 %
Betteraves	17 %	16 %
Pomme de terre	14 %	25 %
Pois	8 %	16 %

Les différences que l'on peut observer entre le groupe et l'exploitation retenue comme base de la simulation s'expliquent par l'absence de surfaces fourragères sur l'exploitation choisie. L'objectif fixé pour la région de l'Artois étant de modéliser les cultures de betteraves et pommes de terre, les surfaces libérées par l'absence d'élevage ont été réaffectées aux cultures de pommes de terre et pois.

L'autre critère disponible à l'échelle de cet échantillon est la main-d'oeuvre. Dans ce domaine l'exploitation retenue est entre l'exploitation moyenne et dominante.

	Echantillon centre de gestion		Exploitation
	Quart supérieur	Moyenne	
UTH /exploitation	2,2	1,5	2
Ha de SAU/UTH	81	47	60

## III.1 LA MODELISATION BIO-ÉCONOMIQUE

### III.1.1 LA MODÉLISATION AGRONOMIQUE

Les données climatiques retenues pour représenter cette région ont été fournies par le Centre National de la Météorologie Nationale de Boulogne sur Mer et reprennent les relevés de la station d'Epinoy pour les températures et les précipitations et la station de Wancourt pour le rayonnement total.

Les données pédologiques nous ont été transmises par la mission sol du Service Régional de l'Hydraulique Agricole de Lille et l'INRA de Laon. Les principales caractéristiques de ce sol sont : sol limoneux profond avec une bonne capacité de rétention en eau mais une forte tendance à la battance.

Enfin les façons culturales sont issues de l'exploitation de référence et de données départementales fournies par la Chambre d'Agriculture du Pas-de-Calais.

L'ensemble de ces éléments a ainsi permis de procéder à la modélisation agronomique au moyen d'E.P.I.C.

Les tableaux qui suivent présentent de manière synthétique les différents niveaux d'intensification des itinéraires retenus pour modéliser l'environnement technique de l'exploitation de référence. La technique 3, tirée de la réalité, a permis la calibration du modèle agronomique et l'élaboration de techniques plus et moins intensives (tech 4 et 2).

Tableau 1  
Rendements calculés et rendements réels (qx/ha)

Cultures	Artois	E.P.I.C.
Blé	88	85.7
Pois	60	58
Pommes de terre	40 t	40,7 t
Betteraves	65	66.8
Colza (tech 4)	34	34,2

Tableau 2  
Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques (en kg /ha)

Cultures	Technique 4		Technique 3		Technique 2	
	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)
Blé	200	75	180	75	170	75
Pois			0	100	0	100
Pommes de terre			200	150		
Betteraves			130	120		
Colza	200	100	180	100	180	100

**Tableau 3**  
Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements

Cultures	Technique 4		Technique 3		Technique 2	
	Semis	Phyto	Semis	Phyto	Semis	Phyto
Blé	420	1580	420	1190	420	940
Pois			950	1210	950	930
Pommes de terre			2700	1620		
Betteraves			1200	1900		
Colza	180	1140	180	940	180	740

La réduction des charges en traitements phytosanitaires correspond à l'élimination des réducteurs de croissance et de certains fongicides et insecticides des itinéraires culturaux. En revanche les herbicides n'ont été réduits dans les techniques plus extensives.

**Tableau 4**  
Récapitulatif des rendements moyens sur 5 ans des monocultures

Cultures	Technique 4	Technique 3	Technique 2
Blé	93.1	85.7	81.1
Pois		58	55.5
Pommes de terre		40.7	
Betteraves		66.8	
Colza	34.2	33.1	31.1

Pour modéliser l'influence sur les rendements de la réduction de certains traitements, nous avons procédé à la baisse arbitraire des rendements de la cinquième année selon les règles mentionnées ci-dessous :

Cultures	Baisse rendt 5 <sup>o</sup> année (qx)	
	Techn. 2	Techn. 3
Pois	15	0
Colza	10	5

### III. 1. 2 LA MAQUETTE D'OPTIMISATION ÉCONOMIQUE

Le modèle mathématique construit pour l'Artois reprend la structure des modèles précédents, en y ajoutant la production de pommes de terre sous contrat.

Le marché de la pomme de terre répond à la loi de l'offre et de la demande, ce qui entraîne de fortes fluctuations au niveau des cours. A coté de ce marché libre existe un marché contractuel développé par les industriels de la transformation qui garantit un prix pour une quantité déterminée.

La modélisation de la pomme de terre sur le marché libre pose trop de problèmes quant au choix des prix. C'est pourquoi nous avons préféré de nous positionner sur la production sous contrat. Les hypothèses retenues sont un prix fixe sur toute la durée de la simulation et une disponibilité illimitée des quantités.

## III.2 RESULTATS DE LA SIMULATION ECONOMIQUE

Avant de présenter les résultats, il convient de rappeler les paramètres et les conditions initiales du modèle empirique.

En début de période, la structure foncière est de 120 ha dont 95 % sont en faire-valoir indirect. Le travail est assuré par le chef d'exploitation ainsi qu'un employé à plein temps. Les charges fixes (y compris la charge foncière sur la S.A.U.) sont évaluées à 310 000 F. Les amortissements sont de 350 000 F. Le montant maximum de crédit à court terme supplémentaire est de 250 000 F, l'endettement initial est de 850 000 F alors que l'épargne démarre à 250 000 F. Le revenu familial annuel est fixé à 108 000 F (sans compter le revenu extérieur du conjoint). Les simulations sont établies sur des périodes de six ans (deux ans avant la réforme, quatre ans après).

Dans le cas de l'Artois, les résultats obtenus sont établis dans le cadre d'une S.A.U. bloquée à sa valeur d'origine en laissant libre le recours aux services de matériel et de main-d'oeuvre.

Différents scénarios d'aversion au risque ont été testés. Les résultats qui sont présentés ici correspondent à un coefficient  $\Phi$  de 0,4.

### III.2.1 VALIDATION DES RESULTATS

Tableau 5  
Comparaison de l'évolution de l'emblavement entre 1991, 1992 et 1993

%	Echantillon centre de gestion 62					Résultats modèle Artois				
	1991	1992	1993	écart 92-91	écart 93-92	1991	1992	1993	écart 92-91	écart 93-92
CEREALES	45	44	ND	+ 2 %		43	43	25	0	-41
Betteraves	16	16	ND	0 %		16	16	16	0	0
Pomme de terre	15	15	ND	0 %		25	25	25	0	0
Pois	8	8	ND	0 %		16	16	25	0	+56

Le tableau ci-dessus dresse une comparaison entre les emblavements et leur évolution observés dans la réalité à l'échelle de l'échantillon recueilli auprès du centre de gestion et ceux obtenus par le modèle.

Comme nous le soulignons précédemment, l'importance des surfaces est comparable pour les céréales et les betteraves, tandis que l'exploitation modélisée présente des surfaces en pommes de terre et en pois supérieures à la moyenne. L'évolution de ces surfaces entre 1991 et 1992 est similaire pour la réalité et le modèle. Les chiffres disponibles ne nous permettent pas de donner les résultats de 1993. Cependant, en rencontrant des gens de terrain, notamment la Chambre d'Agriculture du Pas-de-Calais, il s'avérerait que la tendance pour les emblavements de pois ait été à la hausse dans l'Artois pour 1993. L'application de la réforme entraîne le gel de 15 % de la SCOP pour la jachère. Ces surfaces gelées ainsi que le développement du pois entraînent une baisse des surfaces de blé pour 93.

La betterave, culture contingentée, n'a pas été influencée par la réforme. Les surfaces sont restées les mêmes.

La réforme n'accorde pas de primes aux pommes de terre. Par conséquent, ces surfaces n'entrent pas dans le calcul de la surface à geler. Les emblavements auraient pu avoir tendance à se développer. Cependant les très mauvaises conditions de marché de 1992, ont freiné cette orientation.

### III.2.2 RESULTATS

L'application de la double méthodologie sur une exploitation représentative de l'Artois montre que :

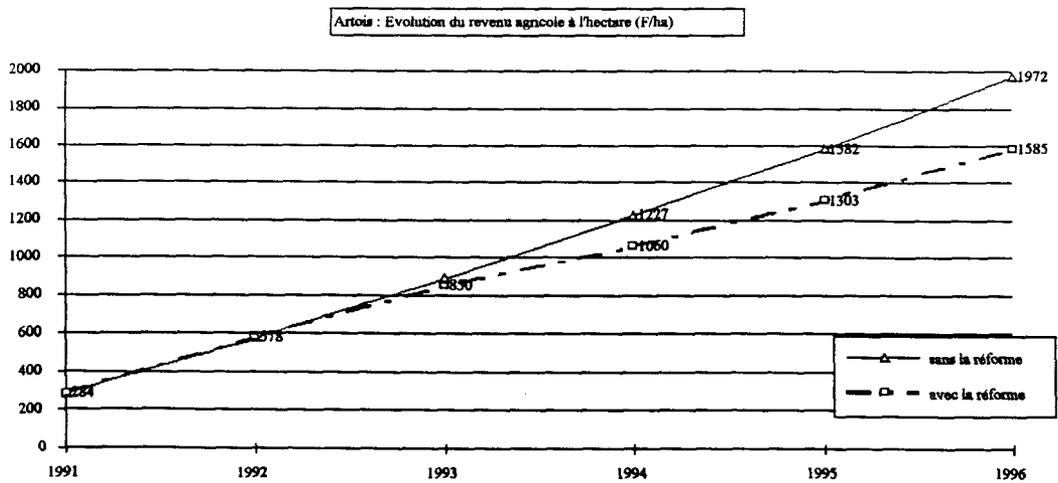
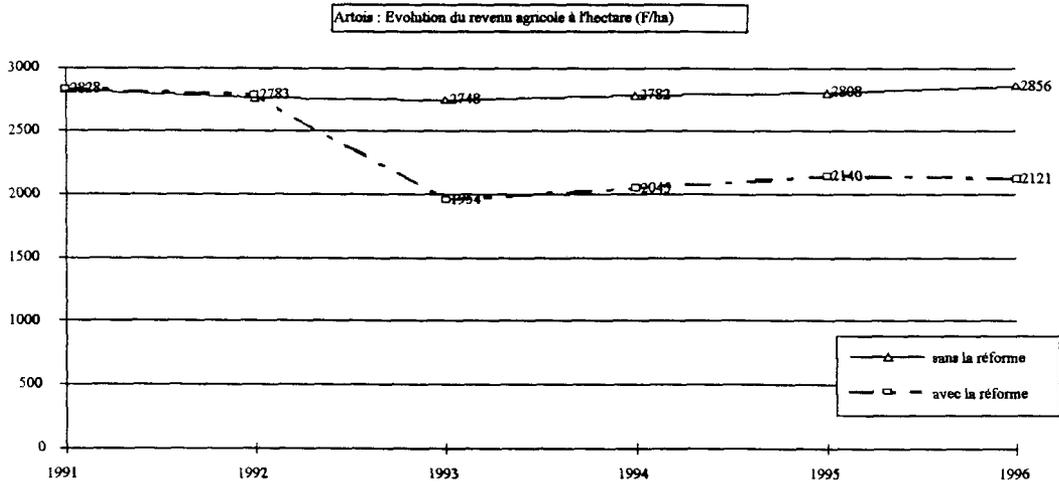
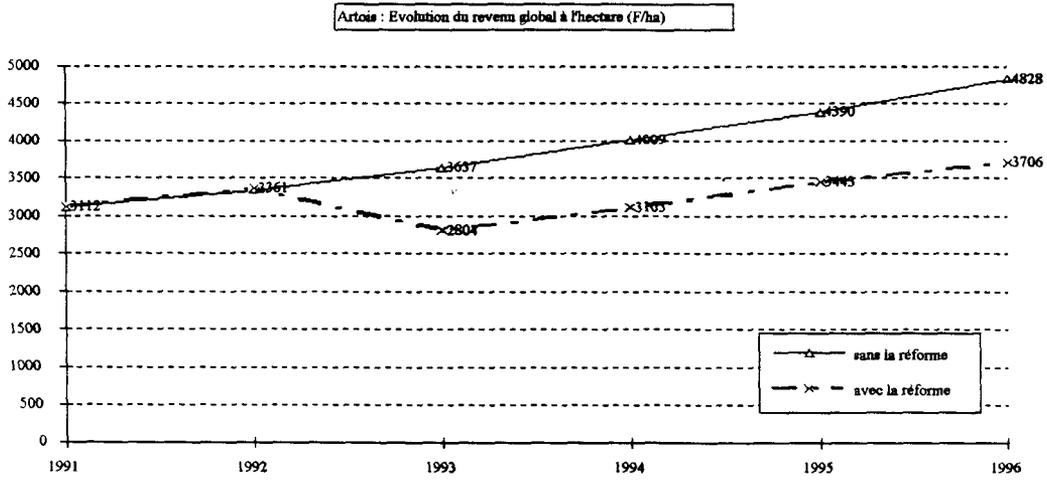
La réforme devrait entraîner une baisse du revenu global de l'exploitation par rapport à l'autre scénario. Si l'on regarde comment se décompose cette baisse on s'aperçoit que c'est le revenu agricole qui chute. En effet, le revenu financier présente une hausse continue sur les 6 ans majoré ici parce que le calcul de l'impôt sur les résultats n'est pas explicitement introduit. Ce surplus d'argent n'est pas investi sur l'exploitation puisque la surface est bloquée et l'achat de matériel impossible (graphique 1).

– Du point de vue de l'emblavement, la réforme induit bien sûr l'apparition de la jachère. Ces surfaces gelées devraient réduire la sole de blé durant les premières années de réforme. Par la suite, la culture du blé devrait se redévelopper et retrouver son importance d'avant la réforme, aux dépens du pois (graphique 2).

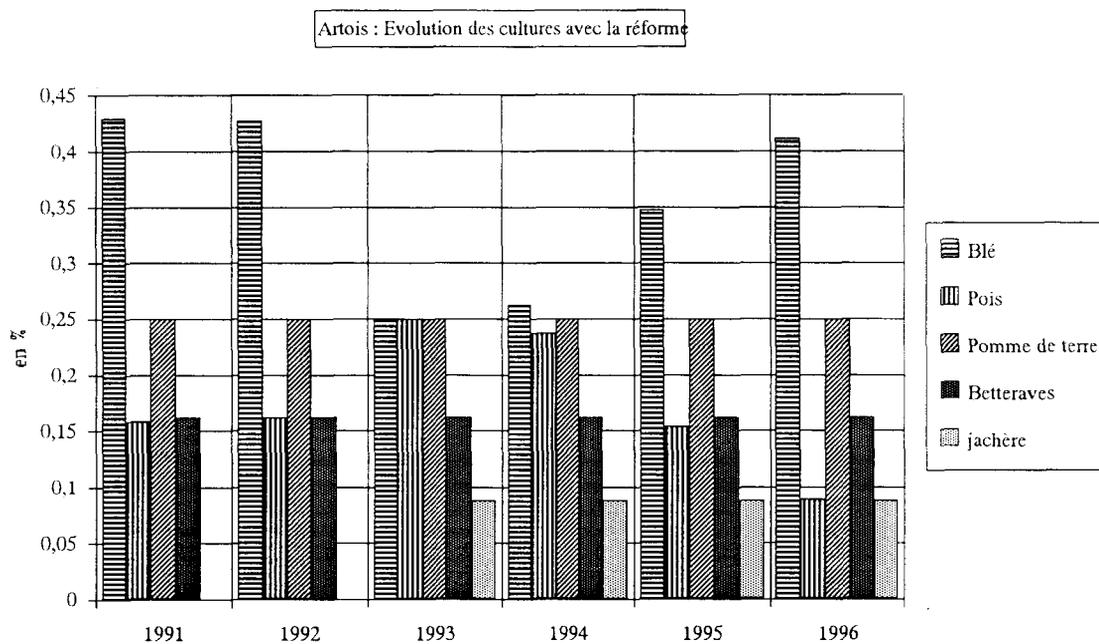
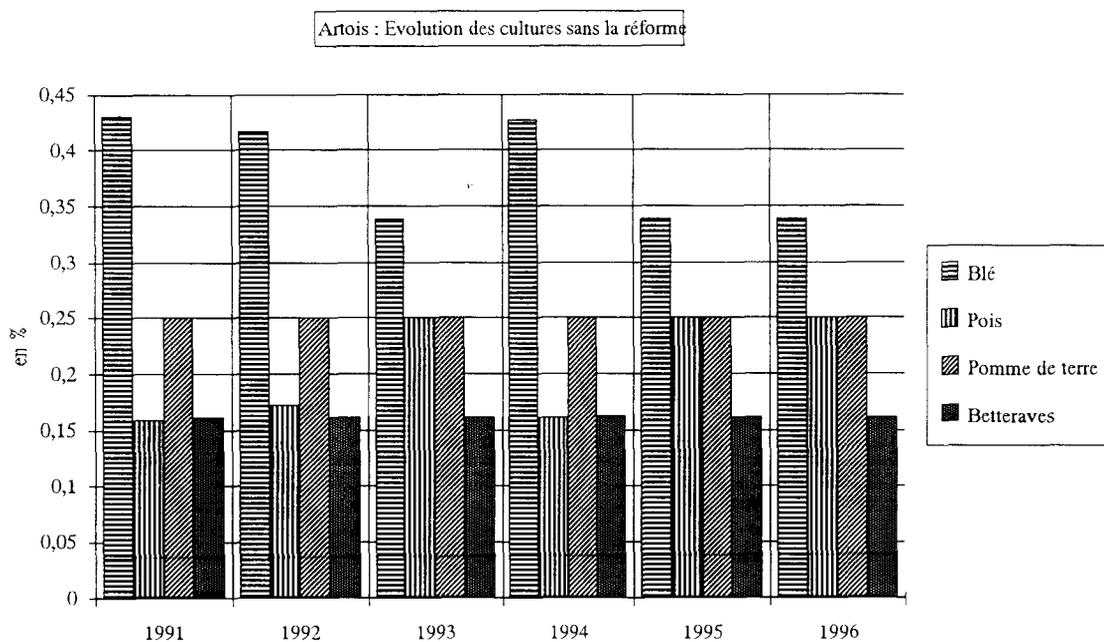
– En termes de techniques, la mise en oeuvre de la réforme devrait surtout concerner la production de blé en favorisant le recours aux techniques intensives raisonnées (T3) aux dépens des itinéraires les plus intensifs (T4). La valorisation des surfaces gelées par le colza énergétique repose sur les techniques les plus extensives (T2). Pour le pois, la réforme ne devrait engager aucun changement (graphique 3).

Les effets de ces évolutions sur l'environnement sont partagés. L'évolution des pertes d'azote (graphique 4) est à relier à celle des emblavements. D'une part, les quantités d'azote apportées diminuent avec la réforme de 1991 à 1994 pour réaugmenter ensuite, à l'image des surfaces en blé, plus demandeur d'azote que le pois. D'autre part, le précédent blé qui devient majoritaire, avec la réforme, à partir de 1996, favorise des pertes plus importantes qu'un précédent pois. Ces deux facteurs conjugués, montrent que la réforme ne devrait favoriser la baisse des pertes d'azote qu'à court terme.

# Graphique n° 1 : Evolution du revenu

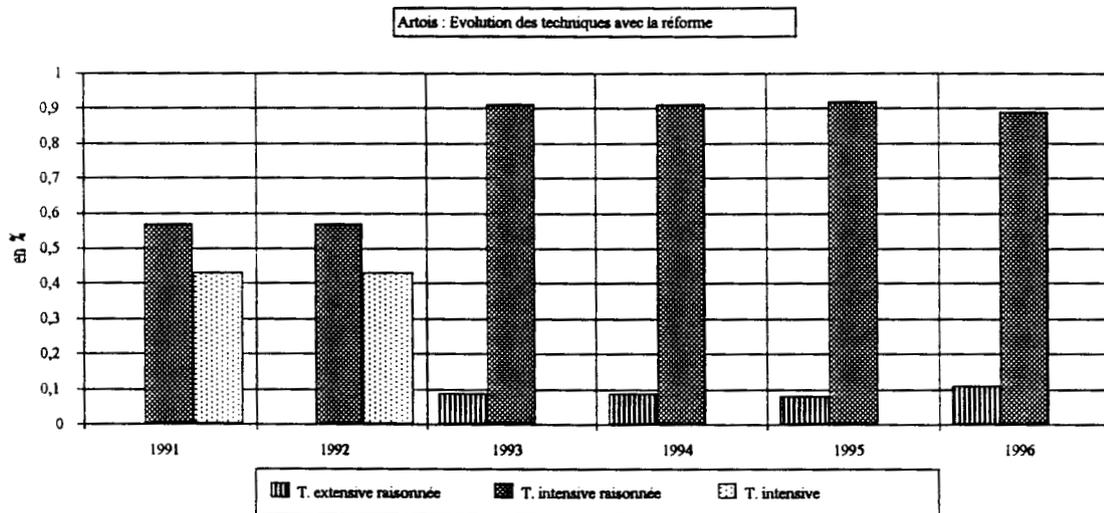
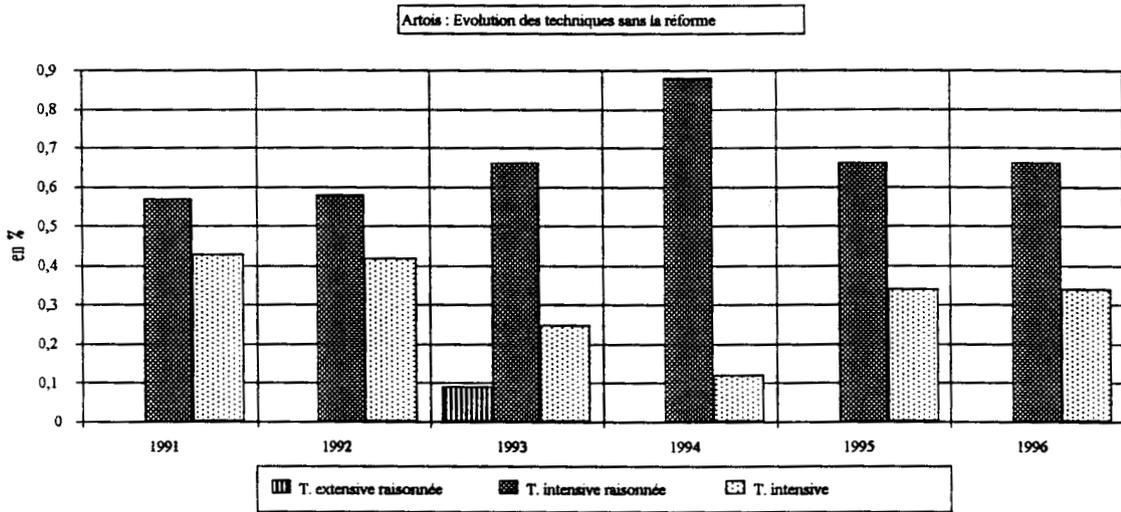


Graphique 2 : Evolution de l'emblavement

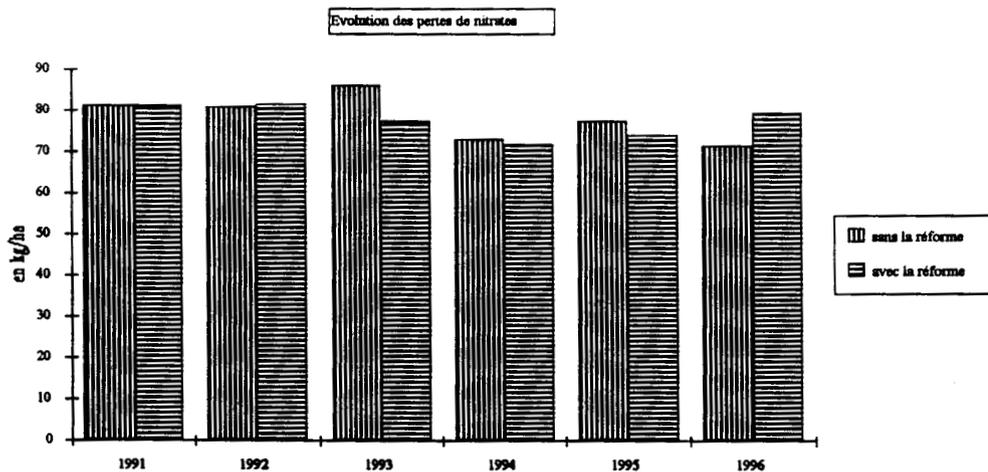


		1991	1992	1993	1994	1995	1996
Blé	<i>Sans la réforme</i>	43 %	43 %	34 %	43 %	34 %	34 %
	<i>Avec la réforme</i>	43 %	43 %	25 %	26 %	35 %	41 %
Pois	<i>Sans la réforme</i>	16 %	16 %	25 %	16 %	25 %	25 %
	<i>Avec la réforme</i>	16 %	16 %	25 %	24 %	15 %	9 %
Pomme de terre	<i>Sans la réforme</i>	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %
	<i>Avec la réforme</i>	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %
Betteraves	<i>Sans la réforme</i>	16 %	16 %	16 %	16 %	16 %	16 %
	<i>Avec la réforme</i>	16 %	16 %	16 %	16 %	16 %	16 %

Graphique n° 3 : Evolution des techniques



Graphique n° 4 : Evolution des pertes totales d'azote



## SECTION IV : APPLICATION AU BARROIS

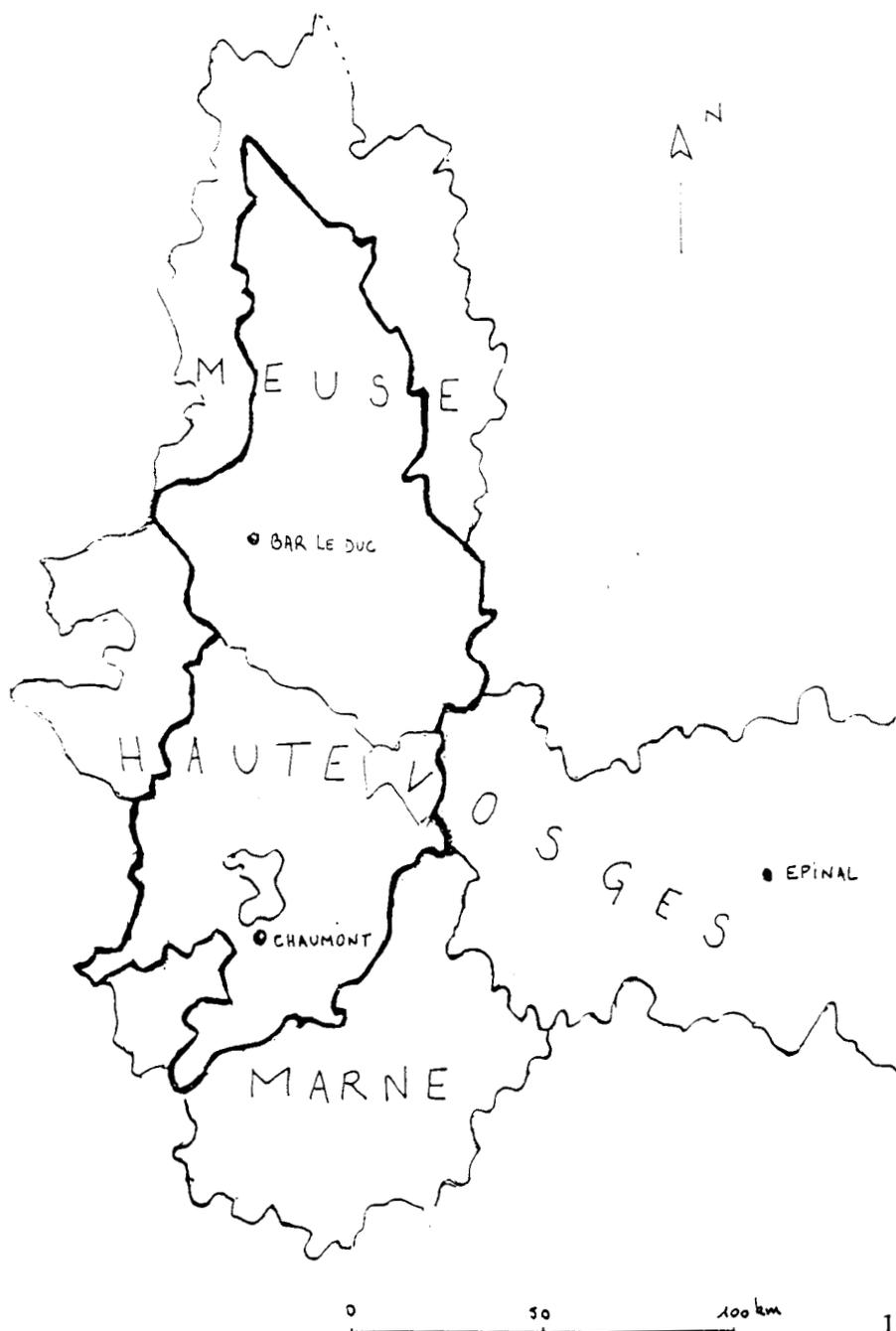
Le Barrois, situé au nord-est de la France, présente des caractéristiques d'une grande homogénéité. D'un point de vue administratif, cette région agricole couvre partiellement trois départements : la Haute-Marne, la Meuse et les Vosges pour respectivement 38, 60, et 2 % de la Surface Agricole Utile totale (voir tableau 1).

Tableau 1  
Importance du Barrois

	Haute-Marne	Meuse	Vosges
S.A.U. (en ha)	1 896	2 958	106
Pourcentage	38 %	60 %	2 %

Source : Recensement Agricole 1988

Carte 1 : Le Barrois



Des conditions pédologiques contrastées expliquent le partage des surfaces entre les céréales et les "grandes cultures" et des surfaces toujours en herbe, propices à la production de viande bovine.

L'exploitation moyenne du Barrois s'étend sur 64 ha environ dont 41 % sont en propriété. Elle possède 0,5 moissonneuse-batteuse et 1,9 tracteurs. Elle emploie statistiquement 1,35 UTH composées essentiellement de main-d'oeuvre familiale. Les salariés permanents représentent 6 % de la main-d'oeuvre. L'emploi de salariés temporaires est exceptionnel (Recensement Général de l'Agriculture, 1988).

L'étude de l'ADASEA de 1992 montre que les exploitations dominantes, c'est-à-dire qui représentent la majeure partie des surfaces, sont de taille nettement supérieure à la moyenne (100 ha pour les exploitations polyculture-élevage et 150 ha en céréaliers purs).

L'utilisation de modèles économiques pour simuler la compétitivité des exploitations nécessite que l'on valide les résultats au niveau d'une exploitation réelle. Nous avons donc choisi une exploitation du Barrois proche de l'exploitation dominante.

Cette exploitation couvre une surface de 150 ha. Elle fait donc partie des 24 % des exploitations dont la superficie dépasse 100 ha. Par conséquent, elle appartient au groupe d'exploitations dites dominantes.

Son mode de faire-valoir est principalement direct 53 %. Le reste étant de la location en fermage pour 47 %.

La principale source de main-d'oeuvre sur la ferme type est le chef d'exploitation. Cependant, il ne faut pas négliger le travail fourni par le père et la mère de l'agriculture. Cette main-d'oeuvre gratuite permet de mieux gérer les périodes à forte charge de travail. Comparer au 1,35 UTH/ exploitation, chiffre moyen dans le Barrois, cette exploitation se situe dans la moyenne.

Avec trois tracteurs et une moissonneuse-batteuse, l'exploitation de référence est mieux équipée que la moyenne (1,9 tracteurs et 0,46 moissonneuse batteuse par exploitation en 1988).

L'exploitation-témoin fait de la polyculture-élevage de bovins viande. Elle fait partie des 27 % des exploitations de l'OTEX "grandes cultures et herbivores".

La surface toujours en herbe (STH) représente, en 1991, 33 % de la S.A.U., chiffre très proche de la moyenne régionale (30 % en 1988).

Tableau 2  
Assolement (ha) des cultures de vente de l'exploitation modélisée

	1991
Blé	40
Maïs ensilage	5
Colza	31
Orge hiver	25
STH	49

L'effectif de l'exploitation (voir tableau 3) est plus faible que celui des exploitations à vocation grandes cultures et élevage de bovins (50 vaches allaitantes et 95 U.G.B.). Ceci est dû en partie à la surface herbagère inférieure à la moyenne, mais on peut aussi l'expliquer par les écarts très importants par rapport à la moyenne (de 25 à 80 vaches allaitantes).

Tableau 3  
Effectifs de bovins en 1991

Type d'animaux	1991
Vaches allaitantes	30
Boeufs 2 ans	14
Taurillons 18 mois	11
Taurillons 23 mois	3
Génisses 1 an	12
Génisses 2 ans	12

## IV.1 MODÉLISATION BIO-ÉCONOMIQUE

### IV.1.1 MODÉLISATION AGRONOMIQUE

La démarche adoptée pour la modélisation agronomique des régions déjà étudiées est reprise ici pour le Barrois.

Les données météorologiques utilisées proviennent de la station de Loxeville. Les données pédologiques, sont issues de la Chambre d'Agriculture de Haute-Marne Ainsi les deux sols, présents à l'échelle de l'exploitation de référence, ont été modélisés. Ont été retenus, un sol très superficiel et un sol plus profond, tous deux étant des sols calcimagnésiques à forte charge en cailloux.

Les tableaux qui suivent, présentent de manière synthétique les différents niveaux d'intensification des itinéraires retenus pour modéliser l'environnement technique de l'exploitation de référence (la technique n°3, tirée de la réalité, sert de base pour la calibration d'E.P.I.C. et construire des techniques plus et moins "intensives").

Tableau 4  
Rendements réels et calculés (qx/ha)

Cultures	Barrois		E.P.I.C.	
	S2	S3	S2	S3
BLE	60	71	58,6	70
ORGE	63	67	64	67
COLZA	29	33	29	33,6

Tableau 5  
Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques (en kg /ha)

Cultures	Technique n°4		Technique n°3		Technique n°2		Technique n°1	
	N (kg/ha)	P (kg/ha)						
BLE	200	70	180	85	160	85	140	85
ORGE	190	85	170	85	150	85	130	85
COLZA	200	47	180	47	160	47	-	-

Tableau 6  
Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements

Cultures	Technique n°4		Technique n°3		Technique n°2		Technique n°1	
	Semis	Phyto	Semis	Phyto	Semis	Phyto	Semis	Phyto
BLE	165	804	165	739	165	589	165	589
ORGE	182	860	182	777	182	673	182	673
COLZA	222	729	222	729	222	624	-	-

La réduction des charges en traitements phytosanitaires correspond à l'élimination des réducteurs de croissance et de certains fongicides dans la conduite des itinéraires culturaux. En revanche, ni les insecticides, ni les herbicides n'ont été réduits dans les techniques plus extensives.

Tableau 7  
Récapitulatif des rendements moyens sur 5 ans des monocultures

Cultures	Technique n°4		Technique n°3		Technique n°2		Technique n°1	
	S2	S3	S2	S3	S2	S3	S2	S3
BLE	61,2	71,8	58,6	70	52,4	64,6	48	60,8
ORGE	66	70	64	67	54,4	65	49,8	60,8
COLZA	29,2	33,6	29	33,6	25,6	31,6		

Pour modéliser l'influence sur les rendements de la réduction de certains traitements, nous avons procédé, pour les techniques simulées les plus extensives (tech 1 et 2), à la baisse arbitraire des rendements de la cinquième année selon les règles mentionnées ci-dessous :

Cultures	Baisse rdts en 5 <sup>e</sup> année (qx)	
	Tech 2	Tech 1
BLE	10	10
ORGE	5	5
COLZA	10	

#### IV.1.2 L'OPTIMISATION MATHÉMATIQUE

Le modèle économique de simulation d'une exploitation de polyculture-élevage de bovins viande que nous avons développé est un modèle multipériodique récursif. Cette approche est sensiblement différente de celle appliquée aux régions précédentes et notamment au Haut Pays d'Artois, terre d'élevage.

La dimension multipériodique d'un tel modèle signifie que chaque année, on optimise le revenu des trois années à venir (on a appelé ces 3 ans : horizon de planification). En effet, la production de viande est réalisée sur un cycle d'au moins 18 mois pour une partie des taurillons et jusqu'à 30 mois pour certains boeufs, tandis que le renouvellement du cheptel de vaches à partir des broutardes s'établit sur 36 mois (broutarde jusqu'à 9 mois, génisse première puis deuxième année, vêlage à 3 ans).

La dimension récursive permet de prendre en compte les résultats de la première année de l'horizon de planification comme données de départ de la première année du nouvel horizon de planification. Sont ainsi considérés la S.A.U., la reprise et la cession de terre, la trésorerie et bien sûr, les effectifs d'animaux.

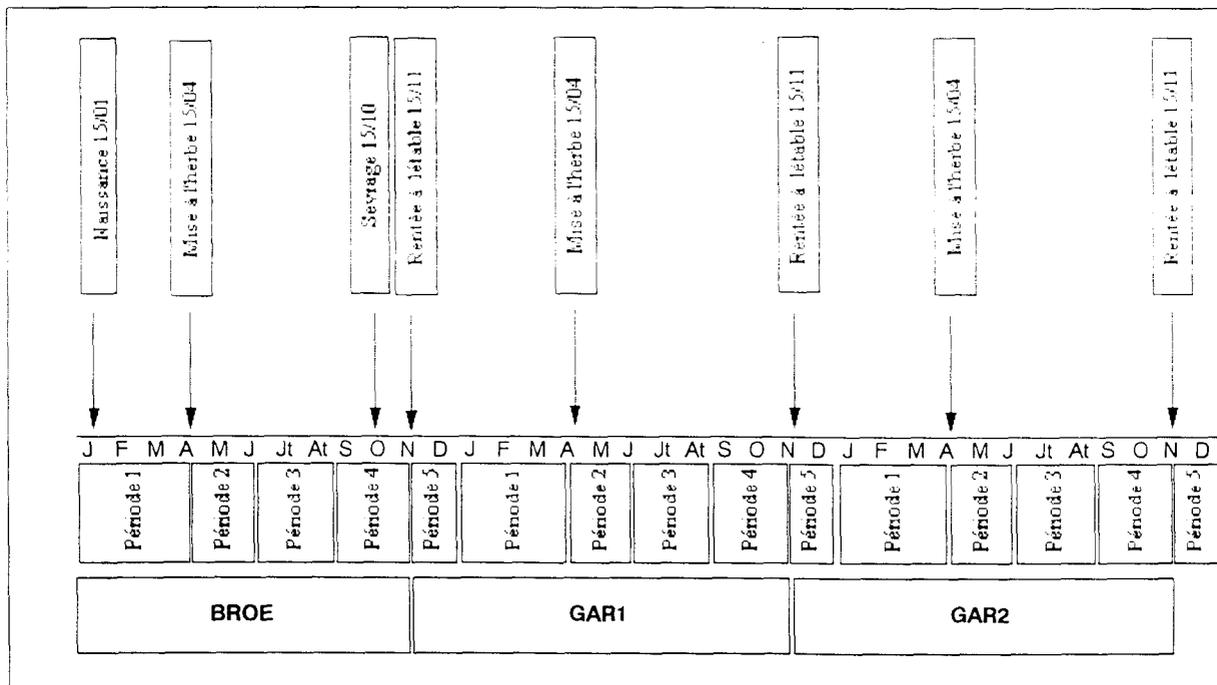


Fig 1 : Conduite du troupeau de génisses

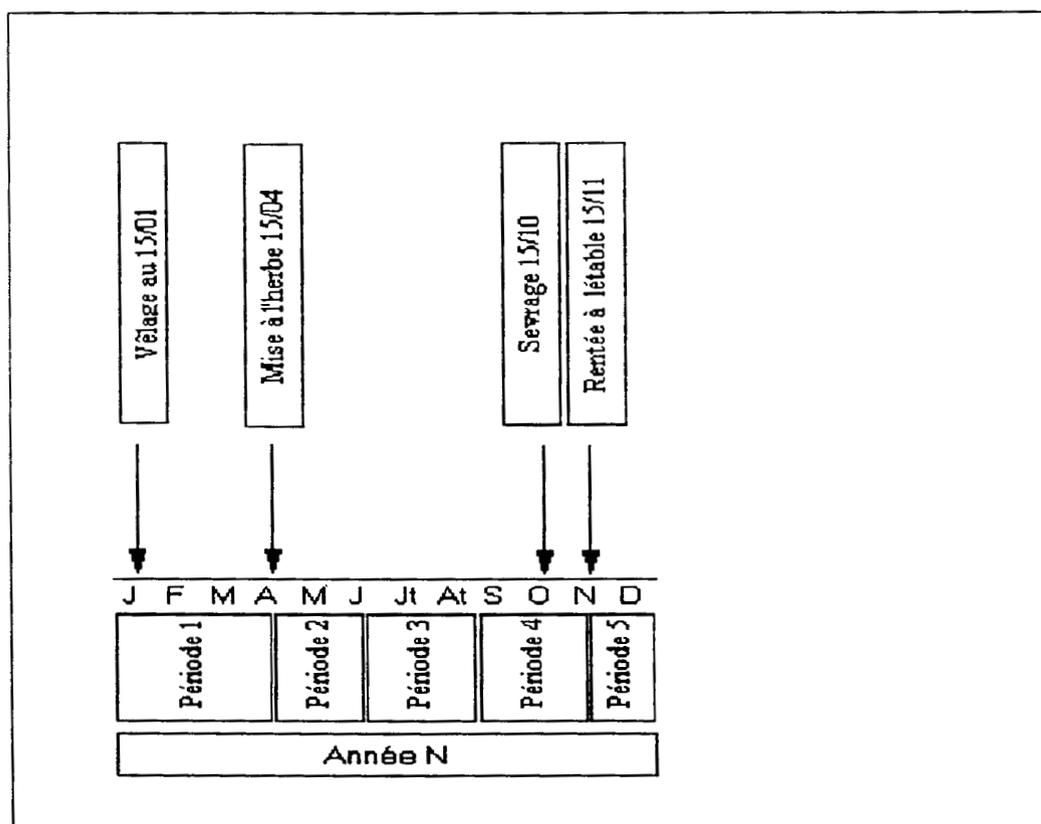
Dans notre maquette, l'année civile a été divisée en 5 périodes qui prennent en compte les saisons et l'année civile (tableau 8).

Tableau 8  
Répartition de l'année en périodes

	Dates	Nb jours
Période 1	1/01 au 15/04	105
Période 2	15/04 au 15/06	60
Période 3	15/06 au 31/08	75
Période 4	1/09 au 15/11	75
Période 5	15/11 au 31/12	45

Ce découpage permet de considérer le changement de régime alimentaire et l'évolution des effectifs qui se produisent dans l'année. La figure 2 présente pour les vaches, la relation entre les périodes et la conduite d'élevage avec notamment les dates de mise à l'herbe et de rentrée à l'étable. La figure 1 présente les flux d'effectifs des génisses, dans le temps. (L'annexe III reprend ces mêmes graphiques pour chaque type d'animaux).

Fig 2: Conduite d'élevage des vaches allaitantes



Concernant la trésorerie, elle est aussi établie selon ces mêmes périodes.

Quelques particularités du modèle :

#### IV.1.2.1 Les effectifs

La maquette économique modélise les cheptels suivants :

- En bovins mâles : broutards, production de taurillons de 18 mois et de 23 mois, production de boeufs de 30 mois.
- En bovins femelles : broutardes, génisses d'un an, génisses de deux ans, vaches allaitantes, vaches de réforme grasses.

Les effectifs de chacun de ces cheptels sont, d'une part, interdépendants, et d'autre part, évoluent en fonction des ventes et des achats. (Cf. fig. 3). Ainsi le modèle qui maximise, chaque année le revenu sur l'horizon de planification, optimise-t-il les effectifs annuels sur 3 ans.

Les critères techniques de conduite d'élevage qui ont été retenus sont les suivants :

- Le taux de réforme : l'agriculteur est obligé de réformer au moins 20 % de ses vaches annuellement.
- Le nombre de broutards
- Répartition mâles-femelles des broutards : 50-50.

Nous rappelons que les effectifs sont calculés de façon réursive, c'est-à-dire que les effectifs de fin d'année constituent ceux du début d'une année suivante.

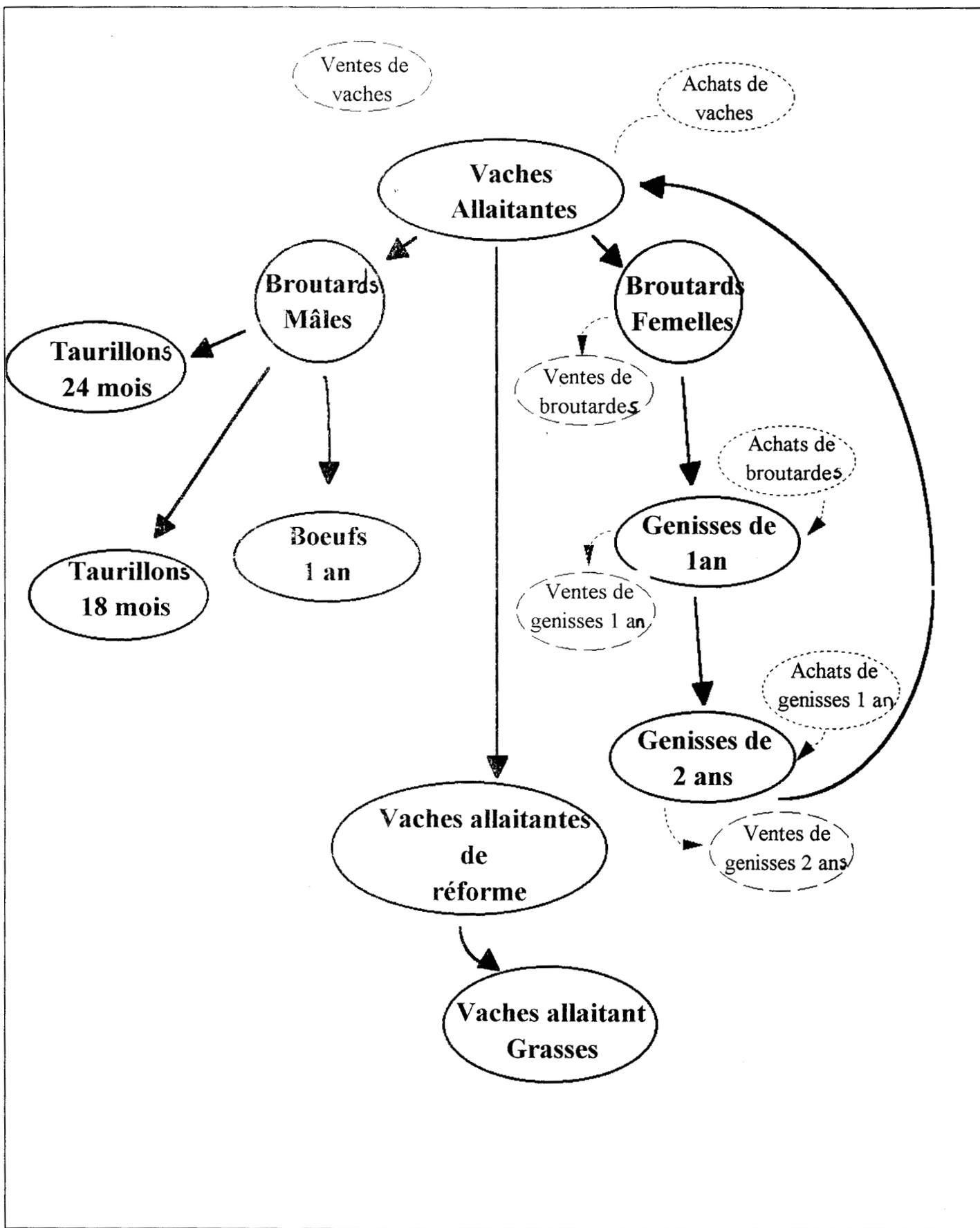


Fig 3 : Les flux d'animaux

#### IV.1.2.2 L'alimentation

Nous avons abordé l'alimentation de l'atelier bovins viande en distinguant deux grands types de régimes : à l'auge et au pâturage. L'alimentation à l'auge (hivernale) repose sur la définition de rations types contrairement à l'alimentation estivale au pâturage basée sur un chargement maximal.

##### *Les besoins a l'auge*

Trois ou quatre rations types ont été définies comme étant les rations les plus souvent rencontrées sur le terrain<sup>1</sup>. Afin de pouvoir modéliser un tel type de contrainte, nous avons défini des sous-ensembles d'animaux selon leur type d'alimentation. Par exemple, nous avons divisé le cheptel de vaches allaitantes en quatre sous-ensembles :

- Les vaches allaitantes nourries au maïs (vam).
- Les vaches allaitantes nourries au foin (vaf).
- Les vaches allaitantes nourries à l'ensilage d'herbe (vah).
- Les vaches allaitantes nourries au foin + céréales (vafc).

Ces rations types définissent un besoin journalier des animaux en fourrages, concentrés, cmv et céréales.

##### *Les besoins en paturage*

L'alimentation au pâturage se raisonne en chargement maximum par période. En effet, celle-ci couvre trois périodes (période 2, 3, 4) qui tiennent compte de la productivité des surfaces en herbe. Les références prises sont celles des techniciens E.B.D. (Réseau Eleveurs de Bovins Demain). Elles donnent en fonction d'une fertilisation un chargement autorisé par période. La valeur du chargement est exprimée en Unité Gros Bovin par hectare, selon la table d'équivalence ci-dessous.

Tableau 9  
Equivalence U.G.B.

Animaux	U.G.B.
Vache allaitante et sa suite	1
1 à 2 ans	0.65
2 à 3 ans	0.85
plus de 3 ans	1

Sources : "Dossier P.A.C." Syndicat Agricole 10.12.93

<sup>1</sup>"De la viande avec des charolais dans l'Est" EBD ITEB, actualisation 1992.

### *Adéquations des besoins et production fourragère*

A ces besoins en fourrages, on fait correspondre des quantités produites. Nous avons distingué le pâturage des fourrages récoltés.

Durant les périodes de pâturage, la surface nécessaire est définie comme étant le rapport du nombre d'U.G.B. présentes sur l'exploitation au chargement maximum. Contrairement aux fourrages récoltés où la surface nécessaire est égale au rapport des besoins totaux sur la productivité à l'hectare.

### *Les aliments achetés*

Les tourteaux et cmv sont achetés. Leur quantité et leur prix sont considérés dans le calcul du revenu.

### *Cas particuliers des céréales*

Deux alternatives sont possibles pour les céréales. Soit elles sont achetées. Dans ce cas, elles sont prises en compte comme les cmv. Soit ce sont des céréales issues des cultures de vente : céréales auto consommées et donc raisonnées comme les fourrages récoltés, excepté qu'une capacité maximale de stockage limite la quantité de céréales destinée à l'alimentation.

### IV.1.2.3. Les cultures

Les cultures rassemblent les cultures de vente (blé, orge, colza), la jachère et les cultures destinées à l'alimentation animale (pâturage, ensilage d'herbe, foin regain, foin pâturé et ensilage de maïs). Soit, au total 9 productions. Si dans la maquette culture, chaque activité était définie en fonction de cinq paramètres (culture, technique, sol, précédent et adhésion à la réforme), ici elles sont exprimées uniquement en fonction de la culture, de la technique et du sol, mais aussi en fonction de l'horizon de planification.

En effet, garder les cinq dimensions (en y ajoutant la dimension de l'horizon de planification) revenait à construire un ensemble de 3 888 activités (9 cultures, 9 précédents, 4 techniques, 2 sols, 2 politiques agricoles et 3 ans de planification). Additionnées aux autres variables du modèle, leur nombre devenait trop important pour GAMS.

Aussi, la dimension "précédent" a été abandonnée étant donné son peu d'influence dans les rendements obtenus dans le Barrois, et l'adhésion à la réforme a été rendue obligatoire après 1993.

La S.A.U. se répartit donc en cultures de vente, surfaces fourragères temporaires et permanentes. Ces dernières ne peuvent être retournées au profit soit de fourrages temporaires, soit de cultures de vente. On modélise de cette manière leur implantation sur les terres les plus mauvaises (charge en cailloux très importante ou conditions d'humidité extrêmes) à l'image de ce qui se passe dans la réalité.

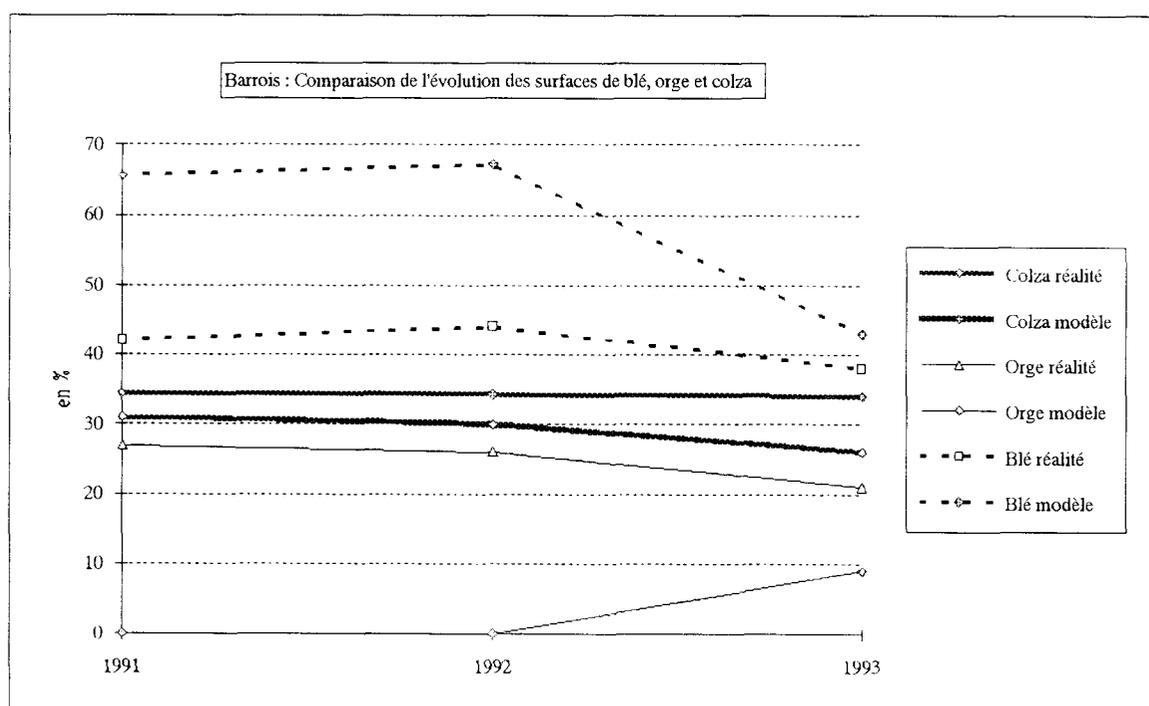
## IV.2 RESULTATS DE LA SIMULATION

### IV.2.1 VALIDATION DES RESULTATS

Tableau 10

Comparaison de l'évolution de l'emblavement entre 1991, 1992 et 1993 (en %, hors SFP)

%	Résultats de groupe C.A. 52					Résultats modèle Barrois				
	1991	1992	1993	écart 92-91	écart 93-92	1991	1992	1993	écart 92-91	écart 93-92
Blé	42	44	38	+ 2	- 6	65	67	43	+ 2	- 24
Orge	27	26	21	- 1	- 5	0	0	9	0	+ 9
Céréales	69	70	59	+ 1	- 11	65	67	52	+ 2	- 15
Colza	31	30	26	- 1	- 4	34	34	34	0	0



Graphique 1

### IV.2.2 LES RESULTATS

Rappelons brièvement les paramètres et les conditions initiales de l'exploitation de polyculture-élevage du Barrois qui nous sert d'illustration ici.

La S.A.U. couvre 150 hectares qui se répartissent entre 101 hectares de cultures temporaires (cultures de vente et fourrages) et 49 hectares de surface fourragère permanente . L'activité est donc de type polyculture élevage, orientée vers la production de bovins viande (potentiellement, taurillons de 18 et 23 mois, boeufs de 30 mois). Le cheptel de début de simulation est constitué de : 30 vaches allaitantes, 12 génisses de un an et 12 de deux ans, 11 taurillons de 18 mois, 3 de 23 mois et 14 boeufs de 30 mois (7 de 10 mois et 7 de 21 mois).

L'assolement de départ comprend 40 hectares de blé, 25 hectares d'orge, 31 hectares de colza, 5 hectares de maïs ensilage et 49 hectares de prairies permanentes.

Le travail est assuré uniquement par le chef d'exploitation.

Les coûts fixes sont évalués à 250 000 F, les amortissements à 50 000 F, l'épargne initiale égale 120 000 F, l'endettement de départ se chiffre à 750 000 F dont 500 000 F pour les emprunts à long et moyen termes. Le montant maximum de crédit à court terme supplémentaire est de 250 000 F.

Le revenu familial annuel tiré de l'exploitation est fixé à 96 000 F.

Les simulations sont établies sur 6 ans (1991 – 1996), dans le cadre d'une S.A.U. bloquée à sa valeur d'origine en laissant libre le recours aux services en matériels et main-d'oeuvre.

Le paramètre d'aversion au risque  $\Phi$  retenu est de 0,17.

Les résultats présentés comparent deux scénarios : "application de la réforme Mac Sharry", "continuité de la P.A.C. (en maintenant constants les prix à partir de 1992, à partir de 1991 pour le colza).

Dans le scénario "avec réforme", nous nous sommes placés dans le cas où l'exploitant touche (et donc respecte les contraintes de chargement) la prime P.A.C., sans toucher ni la prime herbe, ni la prime extensification.

L'application de la réforme à l'échelle de l'exploitation de référence modélisée montre que :

La réforme devrait bénéficier au revenu dès la première année d'application. Dans la réalité les résultats obtenus en 1993 sont sensiblement supérieurs à ceux calculés parce que les prix n'ont pas connu la baisse envisagée et les primes ont quand même été touchées.

Les courbes du graphique 1 présentent une certaine irrégularité. Ceci s'explique, dans le cas de la non réforme, par le choix en 1994 d'engraisser les vaches de réforme plutôt que de les vendre "maigres", comme cela était pratiqué jusqu'alors (donc pas de vente en 1994 et chute du revenu). Dans le cas de la réforme, on assiste à une chute brutale et importante du revenu en 1995. Cela provient de la baisse du nombre de taurillons de 18 mois vendus (13 à 5), cheptel gardé pour produire des boeufs de 30 mois qui seront vendus en 1996. (Cf marge élevage).

On le voit, le modèle radicalise les choix de l'éleveur, ce qui influe très rapidement sur le revenu. La construction d'un modèle à horizon de planification de 3 ans renforce cette tendance. En effet, dans la réalité les conditions de marché pour les trois ans à venir sont difficilement connues, et à fortiori, avec certitude. Il est donc évident que l'agriculteur aura tendance à étaler les risques en diversifiant sa production (ou en n'engraissant qu'une partie des vaches de réforme).

Au niveau de l'emblavement, la réforme entraîne l'apparition de la jachère prélevée sur les surfaces en blé. La part du colza ne devrait subir aucun changement. En revanche, les surfaces d'orge devraient progresser avec la réforme aux dépens du blé, qui reste néanmoins la culture de vente principale dans les deux scénarios (graphique 2).

En termes de techniques de production, la réforme devrait accélérer le recours à des techniques intensives raisonnées à la place de techniques intensives (graphique 3). Cette évolution devrait avoir des effets positifs pour l'environnement en réduisant sensiblement les doses d'azote épandues (entre 2 800 et 3 800 kg en moins au total pour 1994, 1995, 1996). En termes de pertes d'azote par lessivage et ruissellements, la réforme devrait permettre de les réduire d'une vingtaine d'unités (graphique 6).

Concernant le cheptel :

Les bovins viande :

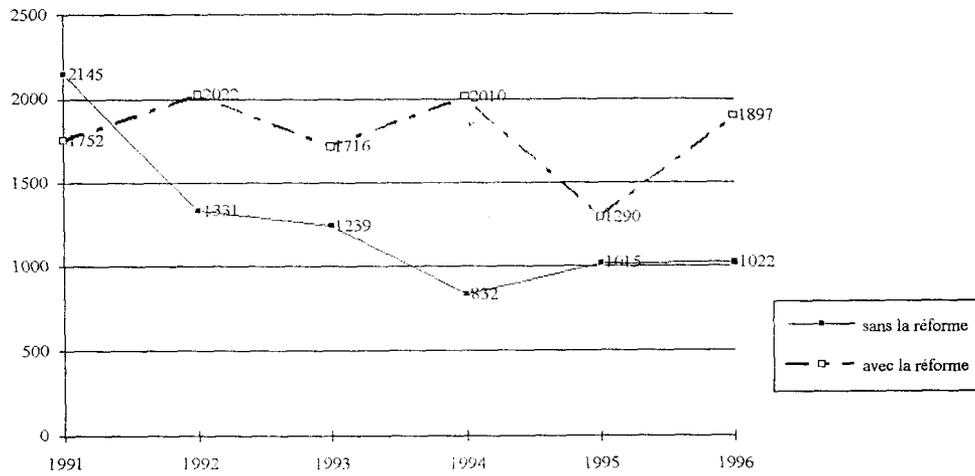
Sans la réforme, l'atelier des taurillons de 18 mois devrait diminuer régulièrement tandis que celui des boeufs de 30 mois se maintiendrait. En revanche, la réforme devrait permettre un fort développement des taurillons jusqu'en 1994 puis leur réduction au profit de la relance de la production de boeufs qui avait disparu en 1993 (Cf graphique 4).

Les vaches de réforme présentent des débouchés différents selon les scénarios : les vaches seraient vendues maigres jusqu'en 1994, puis engraisées dans le cas de la "non réforme". En revanche, dans le cas de la réforme, les vaches de réforme sont toujours vendues non engraisées.

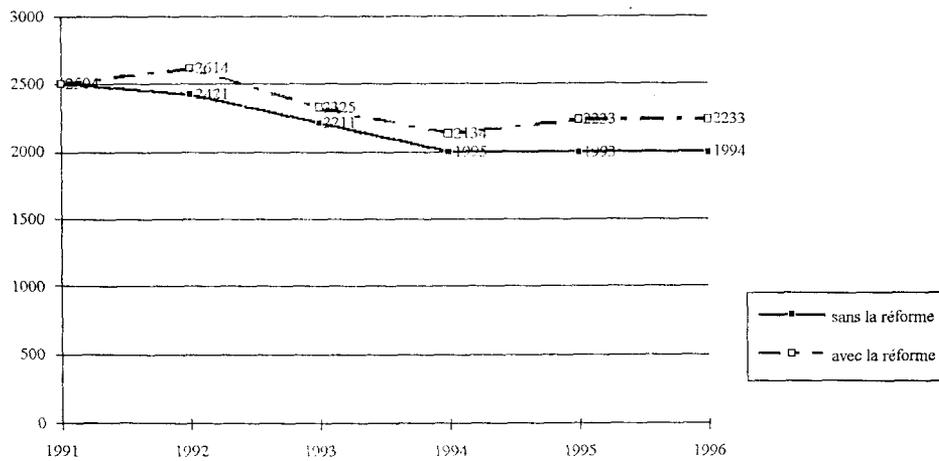
Du point de vue des effectifs de vaches allaitantes l'optimum semblerait se situer plutôt vers 24-25 têtes. Cet objectif est atteint dès 1992 dans le scénario de "non réforme" et en 1995 dans le cas de la réforme.

# Graphique n° 1 : Le revenu

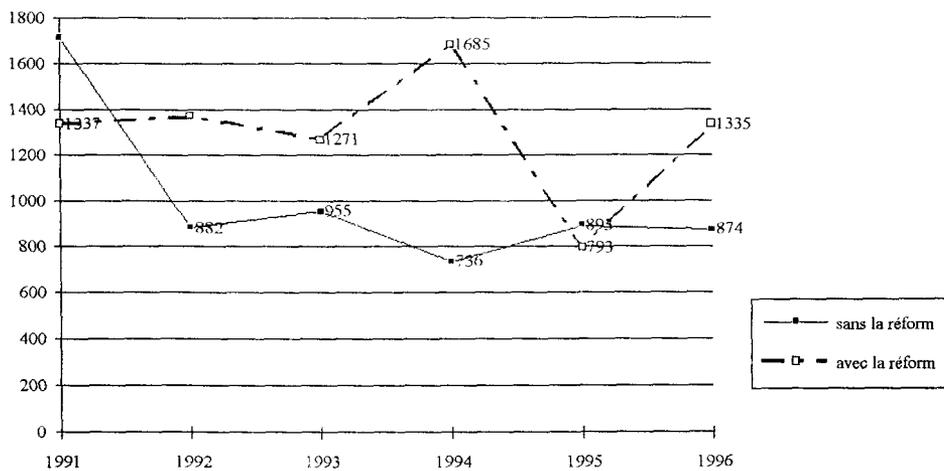
Evolution du revenu (F/ha)



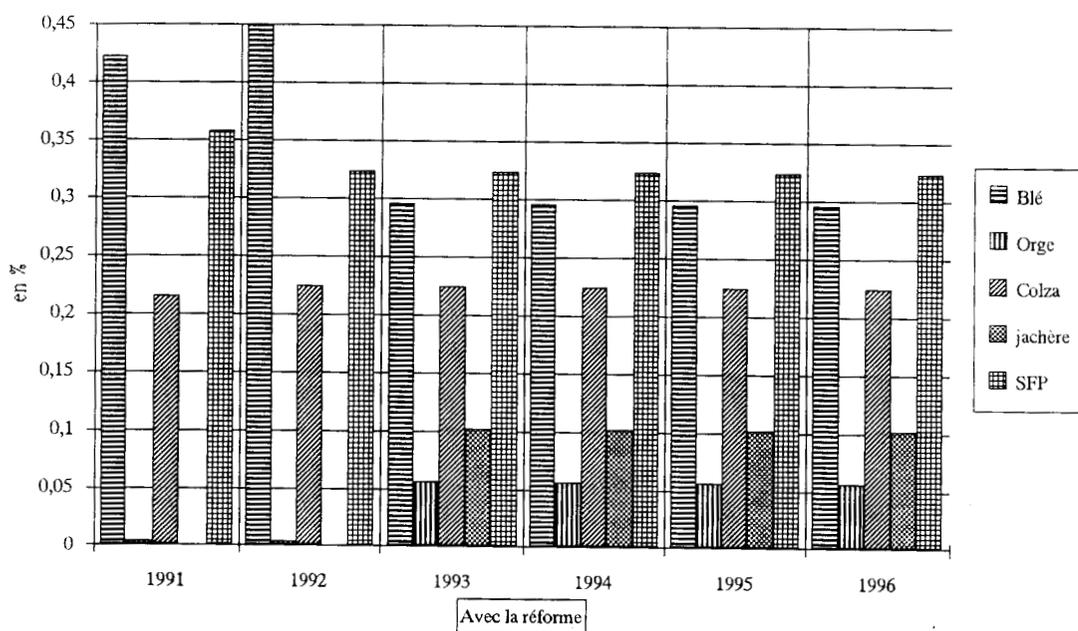
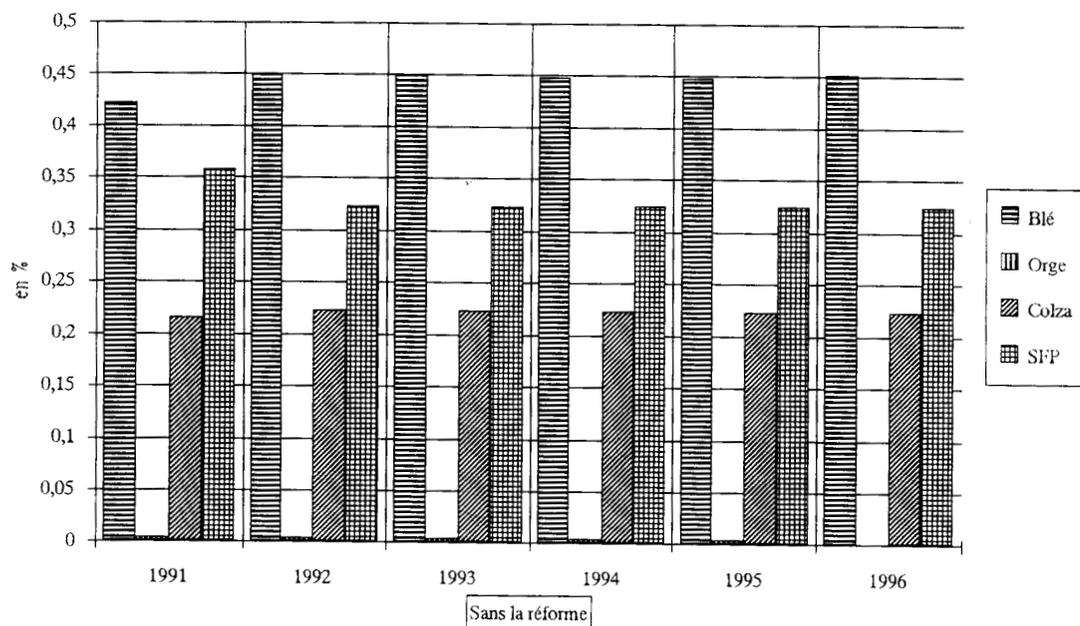
Evolution de la marge culture (F/ha)



Evolution de la marge élevage (F/ha)

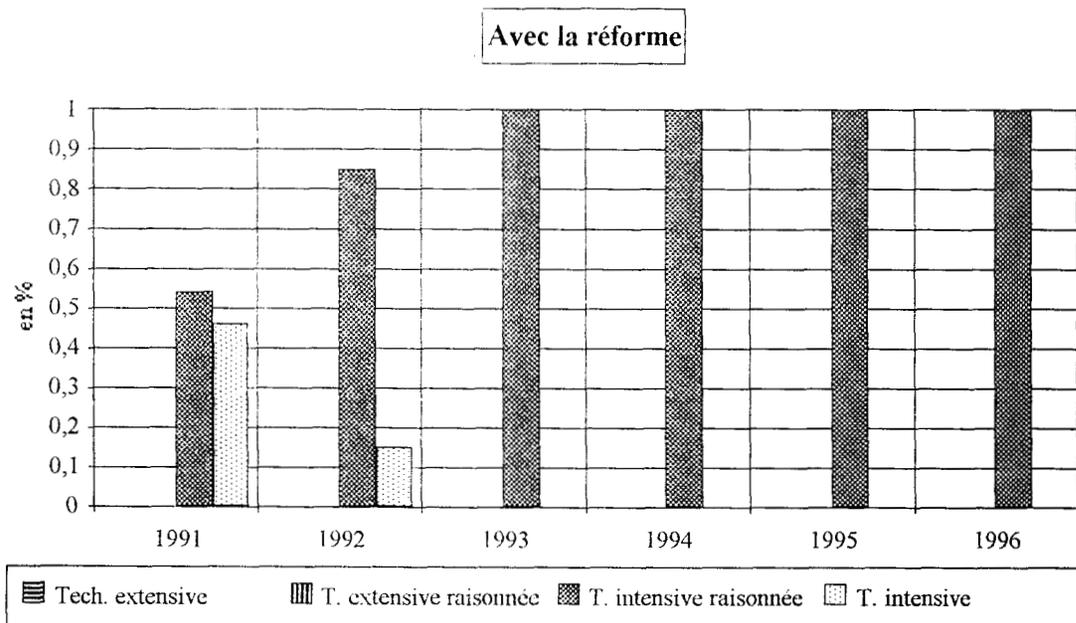
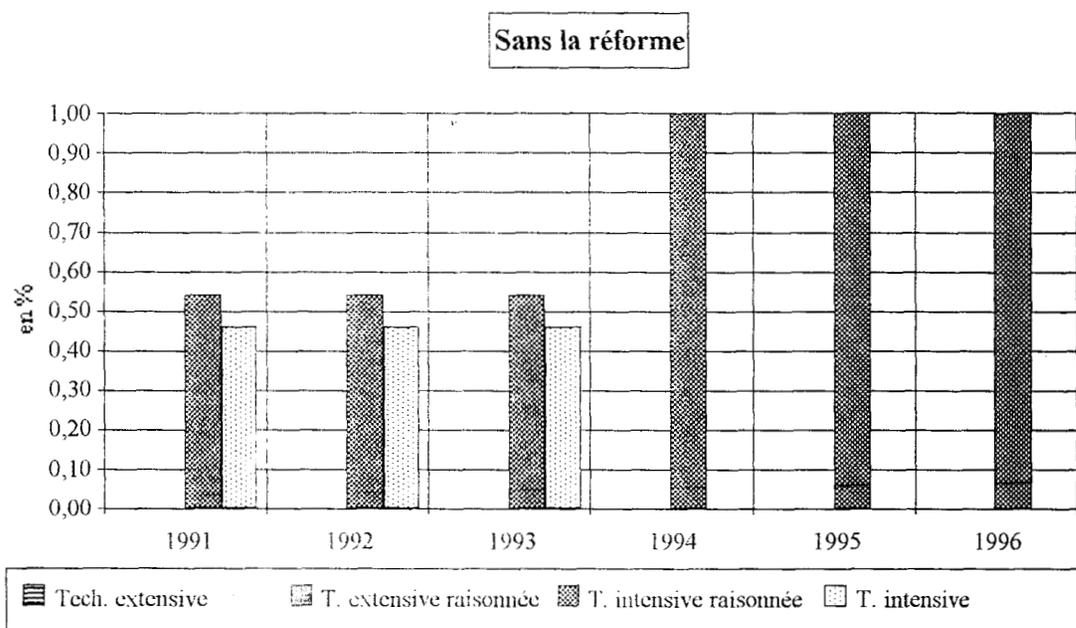


Graphique n° 2 : Evolution de l'emblavement

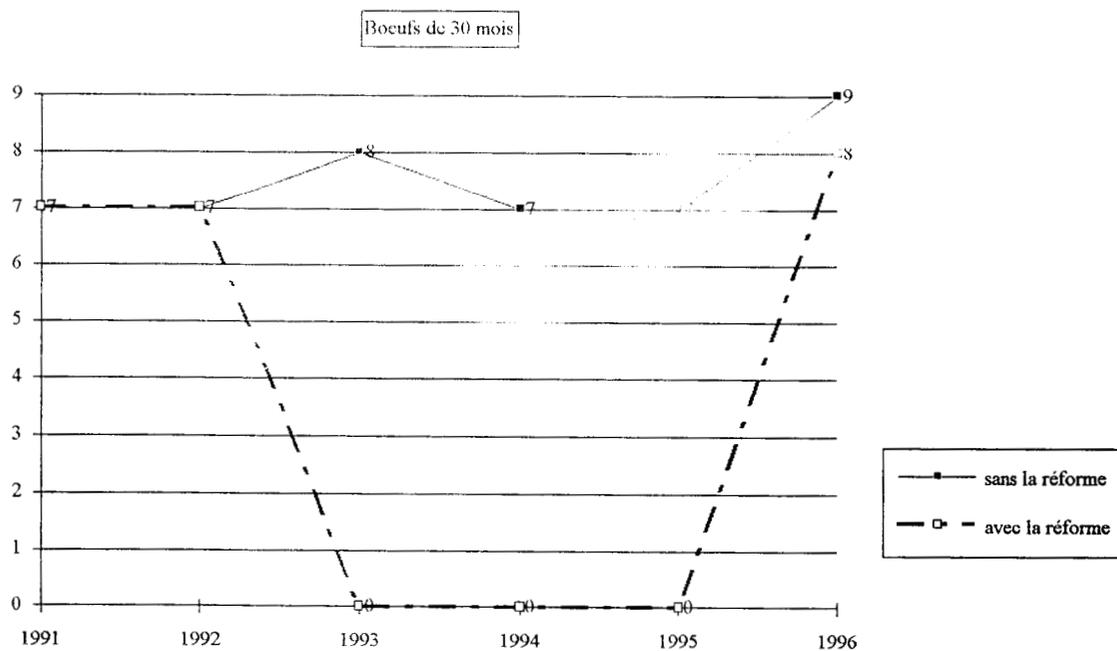
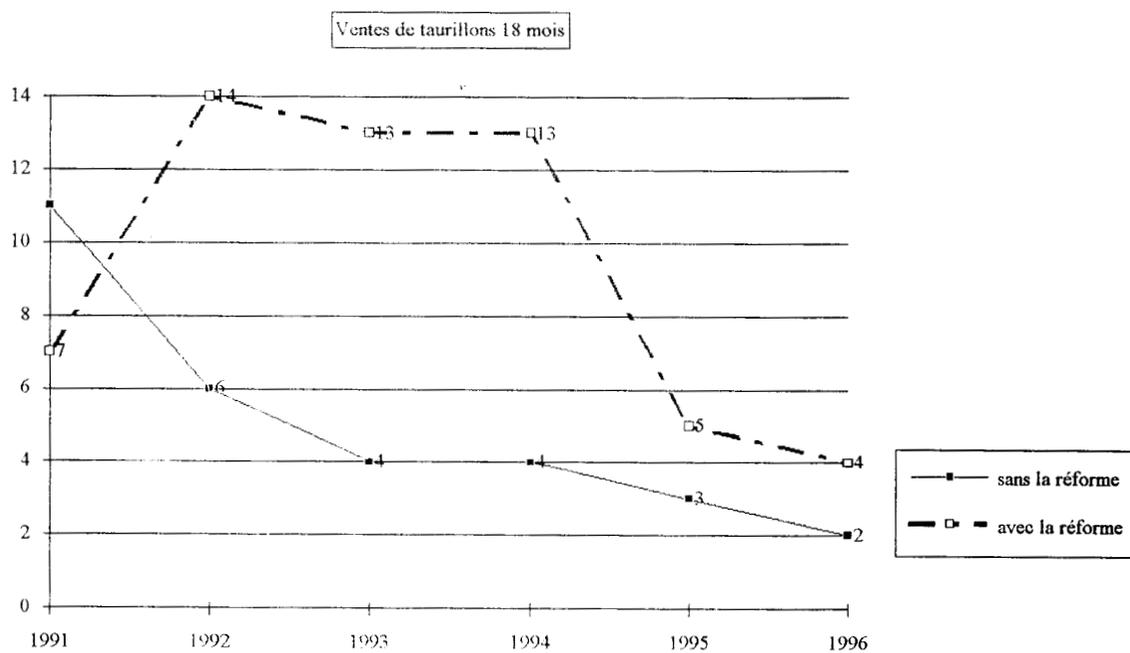


		1991	1992	1993	1994	1995	1996
Blé	<i>Sans la réforme</i>	42 %	45 %	45 %	45 %	45 %	45 %
	<i>Avec la réforme</i>	42 %	45 %	29 %	29 %	29 %	29 %
Orge	<i>Sans la réforme</i>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	<i>Avec la réforme</i>	0 %	0 %	6 %	6 %	6 %	6 %
Colza	<i>Sans la réforme</i>	21 %	22 %	22 %	22 %	22 %	22 %
	<i>Avec la réforme</i>	21 %	22 %	22 %	22 %	22 %	22 %
SFP	<i>Sans la réforme</i>	36 %	32 %	32 %	32 %	32 %	32 %
	<i>Avec la réforme</i>	36 %	32 %	32 %	32 %	32 %	32 %

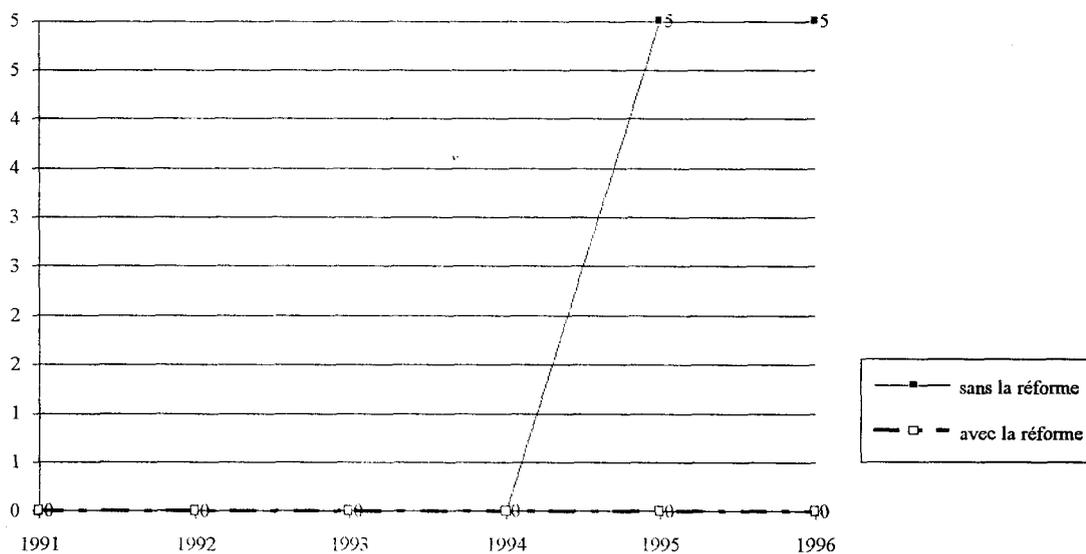
Graphique n° 3 : Evolution des techniques culturelles



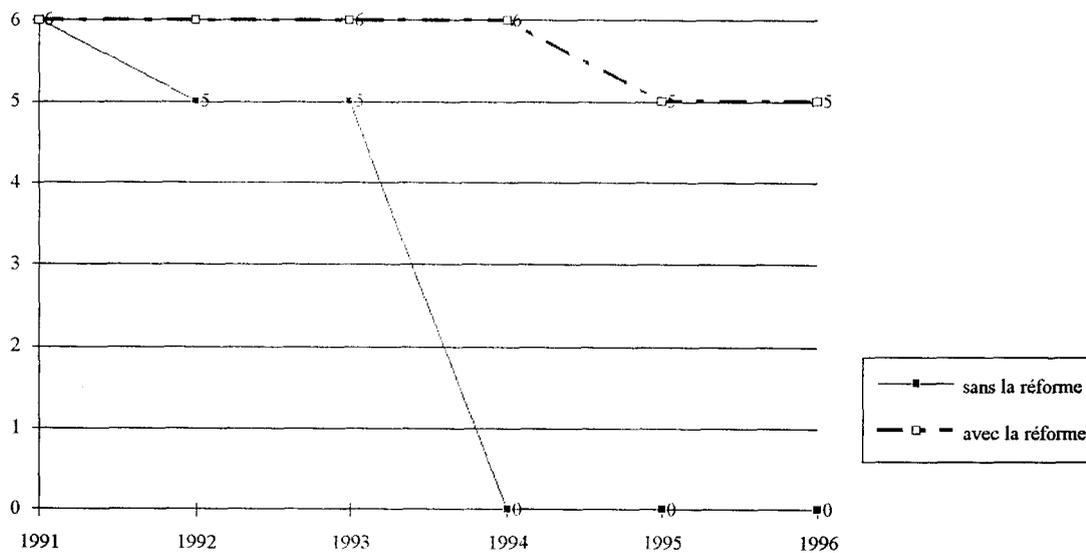
Graphique n° 4 : Evolution des ventes animales



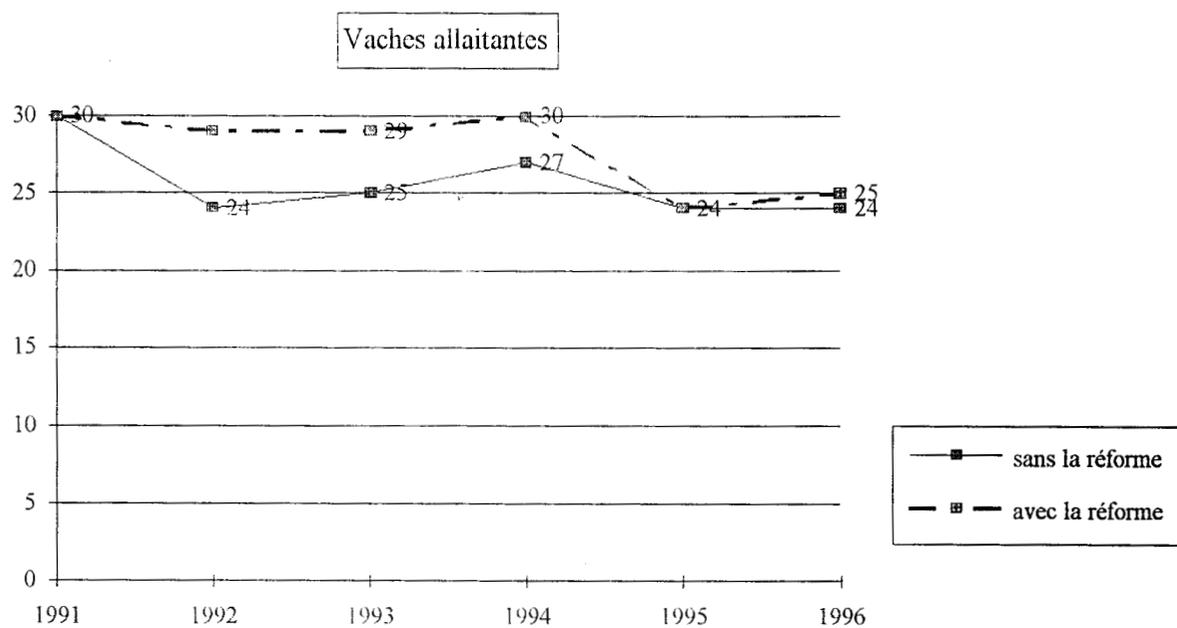
vaches de réforme grasses



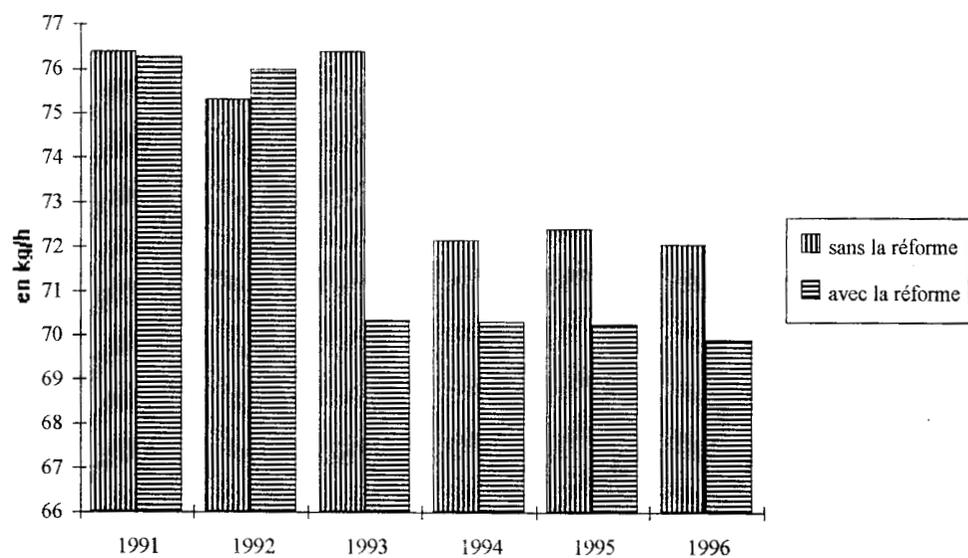
Vaches de réforme maigres



Graphique n° 5 : Evolution des effectifs



Graphique n° 6 : Impacts sur l'environnement : pertes totales d'azote



## **SECTION V : QUE FAUT-IL RETENIR DE CES APPLICATIONS ?**

Nous avons donc appliqué les modèles bio-économiques à des exploitations de référence de sept petites régions agricoles françaises. L'exercice avait pour objectif l'analyse de l'évolution de la compétitivité et des stratégies d'adaptation face à la mise en place de la réforme de la Politique Agricole Commune.

Les régions étudiées ont pour point commun l'orientation de leur activité vers les céréales et autres grandes cultures. Le choix de deux régions de polyculture-élevage (Barrois et Haut Pays d'Artois) a permis également de tenter d'appréhender les effets de la réforme en termes de production de viande.

Cette application réalisée à l'échelle de différentes régions et que nous présentons dans cette recherche ne doit être considérée que comme un exercice à portée restreinte sur des exploitations agricoles de référence. Les résultats que nous obtenons sont très dépendants de l'environnement technico-financier modélisé. Celui-ci n'ayant pas exploré l'ensemble de l'horizon d'adaptation technique possible, il est bien évident que ces résultats ne sauraient constituer une lecture complète et définitive de l'avenir.

On peut toutefois tenter de faire une synthèse des différents tests opérés et de porter un jugement sur la pertinence de l'exercice. Que faut-il retenir de tout ceci ?

### **V.1 SYNTHÈSE DES RESULTATS REGIONAUX**

Si toutes les régions étudiées avaient pour point commun la production de céréales et d'autres "grandes cultures", la structure technico-financière des exploitations modélisées présentait des différences sensibles, les conditions de marché pouvaient varier et les orientations de la réforme de la P.A.C. s'exprimaient par des primes compensatoires aux montants différents. Ces divers éléments ont donc joué pour donner des stratégies d'adaptation à la réforme spécifiques à chaque région. Dans quelles mesures ces réponses sont-elles en accord avec les orientations agricoles européennes ?

#### V.1.1 DES STRUCTURES D'EXPLOITATION DIFFÉRENTES

Tableau 1 : récapitulatif des exploitations agricoles modélisées

1. Région	Lauragais	Côteaux du Gers	Vallées Terrasses	Beauce	Barrois	Artois	Ht-Pays d'Artois
2 Caractérisation de l'exploitation	petite, en sec, polycult.	moy/gde, peu irrig, polycult.	moy/gde, irriguée, polycult.+ élev.	grande non irrig polycult.	grande non irrig polycult.	grande non irrig polycult.	moy/gde non irrig polycult + lait+viand
3. S.A.U. (ha)	40	130	140	219	150	120	90
4. Irrigati (% SAU)	7	15	51	0	0	0	0
5. Fermage (% SAU)	32	44	47	88	47	5	
6. M O (UTA/exploit.)	2	2	2,2	2	1	2,5	1,5
7. Tracteurs/exploit.	2	2	2	4	3	5	2
8. Prod vég (ha)							
Céréales hiver	12	39	32	147	65	52	33
Céréales été	7	29	39	23	5		13
Oléagineux	16	42	64	20	31		10
Protéagineux	5	20	5	29		19	
Pommes de terre						30	
Betteraves sucrières						19	9
Prairies permanentes					49		25
9. Cheptel							
Vaches laitières							30
Vaches allaitantes					30		
Boeufs 2 ans					14		
Taurillons 18 mois					11		22
Taurillons 23 mois					3		
Génisses 1 an					12		15
Génisses 2 ans					12		14
10.							
Charges fixes (F)	85 000	270 000	294 000	535 000	250 000	310 000	300 000
Dette LT (F)	100 000	325 000	350 000	500 000	750 000	850 000	550 000
Trésorerie initiale (F)	50 000	250 000	200 000	400 000	120 000	250 000	150 000
Prélév famil (F/mois)	6 000	12 000	12 000	12 000	8 000	9 000	15 000

Le tableau 1 reprend les caractéristiques technico-économiques des exploitations agricoles modélisées. On peut observer des situations très diverses qui sont le reflet, en grande partie, des spécificités des agricultures régionales.

#### V.1.2 DES STRATÉGIES D'ADAPTATION LA RÉFORME DIFFÉRENTES

Le tableau 2 reprend de manière synthétique les impacts que devrait avoir la réforme de la P.A.C. à l'échelle des régions étudiées, en termes de revenu agricole, productions, techniques culturales et dégradation du milieu naturel.

Tableau 2  
Résumé des impacts de la réforme (par comparaison avec la non réforme)

	Revenu agricole	Emblavement ( )		Techniques culturales	Pertes d'azote
Lauragais	favorable stabilité /1992	céréales hiv céréales été <u>oléagineux</u> protéagin.	- - ++ -	plutôt renforcement des techniques intensives raisonnées. Irrigation moins intensive	plutôt favorable
Côteaux du Gers	favorable stabilité/1992	céréales hiv céréales été <u>oléagineux</u> protéagin.	- - ++ --	plutôt renforcement des techniques intensives raisonnées. Irrigation moins intensive	plutôt favorable
Vallées et Terrasses	favorable légère croissance	céréales hiv céréales été <u>oléagineux</u> protéagin.	0 - ++ -	plutôt renforcement des techniques intensives raisonnées. Irrigation moins intensive	plutôt favorable
Beauce	défavorable	<u>céréales hiv</u> céréales été oléagineux protéagin.	++ - 0 --	recours à des techniques plutôt moins intensives	plutôt favorable
Barrois	favorable stabilité/1992	<u>céréales hiv</u> oléagineux	- +	accélération du recours à des techniques plutôt moins intensives	plutôt favorable
Artois	défavorable	<u>céréales hiv</u> protéagin.	+ -	recours à des techniques plutôt moins intensives	sans effet, à plutôt défavorable
Haut Pays Artois	favorable CT	<u>céréales hiv</u> oléagineux	+ -	recours à des techniques plutôt moins intensives	plutôt favorable

(\*)

-/+ décroissance/croissance faible dans l'emblavement

--/++ décroissance/croissance forte dans l'emblavement

0 stabilité.

céréales hiv production majoritaire dans l'emblavement

Ces éléments nous montrent que les effets attendus de la réforme de la P.A.C. diffèrent selon les régions et les structures.

Ainsi, en termes de revenu agricole, la réforme devrait être favorable aux régions de céréales-grandes cultures qui présentent actuellement les conditions de production les moins avantageuses (régions du Sud-Ouest, Barrois, Haut Pays d'Artois). Cette tendance devrait, si elle se confirme, permettre un rééquilibrage des résultats économiques entre les régions naturellement favorisées et les autres.

En termes de productions, l'application de la réforme devrait favoriser le recentrage de l'activité autour des cultures qui profitent d'une part de bonnes potentialités agronomiques au niveau de la région et dont les conditions de transaction restent compétitives dans un contexte de prix proches des cours mondiaux.

Ainsi les régions du Sud-Ouest auraient plutôt tendance à produire des oléagineux en accentuant le recours à l'irrigation et de restreindre leur production de céréales d'hiver, peu compétitive nationalement et internationalement dans les conditions nouvelles du marché. La Beauce et l'Artois qui présentent des terres parmi les meilleures de France et des conditions climatiques idéales pour la culture des céréales d'hiver, devraient en renforcer l'importance dans les emblavements. Cette évolution devrait donc renverser la tendance observée depuis 20 ans, à une diversification relative, notamment en Beauce.

Quant au Barrois et au Haut Pays d'Artois, l'équilibre entre les cultures de vente et l'élevage ne devrait pas être remis en cause par l'application de la réforme. L'avantage que celle-ci devrait donner aux céréales d'hiver par rapport aux oléagineux et protéagineux est sans doute à relier aux conditions naturelles, aux conditions de marché des productions destinées à l'alimentation animale, mais aussi au rapport temps passé sur espérance des gains, rapport important quand l'agriculteur doit aussi s'occuper d'un élevage. Les nouvelles conditions de production de viande devraient plutôt être bénéfiques pour l'exploitant et donc favoriser le maintien de cette activité dans les régions concernées. Enfin, les simulations réalisées dans le Pas-de-Calais ont montré l'intérêt des productions contingentées (betteraves, lait) qui limitent les effets de la réforme sur les performances économiques

Au niveau des techniques culturales, même si toutes les possibilités d'adaptation possibles n'ont pas été explorées (3 à 4 techniques à disposition de l'agriculteur), il semblerait que dans certains cas, le recours à des techniques moins intensives soit une réponse aux nouvelles règles de la P.A.C. Cette tendance a été vérifiée au niveau des régions les plus intensives : Beauce, Artois, Barrois et Haut-Pays d'Artois. Inversement dans le Sud-Ouest, la compétitivité des exploitations semble dépendre d'un certain degré d'intensification de la production (mais on assiste au choix d'une irrigation plus économe en eau).

Ces diverses adaptations à la réforme devraient, dans la majorité des régions étudiées, avoir un impact favorable sur le milieu naturel en diminuant globalement les quantités d'azote épandues et les pertes par percolation et ruissellement.

## V.2 QUE PENSER DES MODELES BIO-ECONOMIQUES ?

La réforme de la P.A.C. va entraîner un bouleversement certain de la structure des marchés agricoles européens. L'abandon des aides à la production au profit d'aides directes et l'alignement des prix européens sur les cours mondiaux vont créer un nouvel environnement en rupture avec l'évolution des trente dernières années. Face à cette nouvelle définition de l'agriculture européenne, les interrogations du monde agricole sont grandes.

La plupart des simulations qui ont tenté d'y répondre jusqu'à maintenant, présentent l'inconvénient majeur de raisonner à stratégies et structures inchangées par rapport à la période d'avant la réforme. A l'opposé de la démarche économétrique usuelle, basée sur l'inférence statistique et les fonctions de production paramétriques, l'emploi des modèles de simulation bio-économiques représente une approche différente. Cette méthodologie, qui couple l'emploi d'un modèle de simulation agronomique à un modèle d'optimisation économique, consiste à reproduire l'environnement technico-économique de firmes représentatives et d'évaluer l'évolution des résultats économiques en fonction de scénarios probables de politiques agricoles.

L'emploi d'une telle méthodologie bute sur le nombre très important de paramètres nécessaires pour une modélisation fine de la réalité. Notamment, la bonne représentation des potentialités agronomiques d'une région donnée peut demander un investissement conséquent en temps de collecte de données. D'autre part, cette procédure aboutit à la modélisation de situations particulières et non générales. Les résultats obtenus ne peuvent, en fait, être séparés de l'environnement agricole spécifique (région, pratiques culturelles, structure économique et financière, ...) dont ils sont issus.

Cependant, les modèles de simulation bio-économiques présentent le grand avantage de ne pas bâtir leurs résultats à partir d'une extrapolation du passé. Cette méthodologie est, par conséquent, appropriée à l'analyse de la réforme de la P.A.C., celle-ci va engendrer un cadre économique inconnu jusqu'à présent. De plus, ces modèles s'affranchissent du choix délicat et peu satisfaisant de la forme paramétrique représentative de la fonction de production. Enfin, ils permettent une approche très fine des techniques et donc, des horizons d'adaptation possibles, qui s'offrent à l'agriculteur.

Les modèles de simulation agronomiques consistent à reproduire les principaux phénomènes biologiques à l'origine de la croissance des espèces cultivées. Le modèle E.P.I.C., qui a été retenu ici, propose une vision plus globale des systèmes agronomiques par rapport aux modèles traditionnels (C.E.R.E.S.-Maize, C.E.R.E.S.-Wheat, ...). De plus, mis au point par l'équipe du Blacklands Research Station à Temple, Texas, son adaptation aux données françaises bénéficie des très importants travaux de l'I.N.R.A. de Toulouse.

En reproduisant les données pédoclimatiques d'une région ainsi que les choix et le niveau techniques rencontrés sur une exploitation individuelle, E.P.I.C. calcule les rendements agronomiques et fournit donc à l'économiste les optima techniques, en termes de production, des combinaisons de facteurs de production. Par conséquent, ce modèle qui maximise les outputs, à partir d'une série d'intrants et sous diverses contraintes, modélise une vraie fonction de production.

Enfin, E.P.I.C. présente l'atout de simuler divers éléments liés à la dégradation de l'environnement, notamment la perte des nitrates par lessivage. On peut ainsi associer les impacts sur le milieu et les comportements productifs des agriculteurs, même si, ne prendre en compte que les nitrates comme externalités de l'agriculture, demeure très restrictif. Cependant, cette première valorisation des actifs naturels permet de considérer les aspects environnementaux dans la stratégie économique du producteur.

E.P.I.C. a permis une bonne modélisation de plusieurs niveaux d'intensification. Ceux-ci représentaient les choix technologiques possibles offerts à l'agriculteur pour s'adapter aux nouvelles conditions de politique agricole. Les rendements calculés en fonction du précédent cultural étaient représentatifs, dans la plupart des cas, de la technique employée et ont été repris à l'échelle de la maquette économique.

La modélisation économique a simulé les activités des exploitations représentatives, sur une période de six ans, de 1991 à 1996. La fonction objectif a maximisé le revenu compte tenu d'un certain nombre de contraintes physiques et financières. L'optimisation du revenu moyen a été calculée en fonction des anticipations sur les prix, les primes et les rendements techniques pour la période retenue. La maquette fonctionne sur le principe de la récursivité (les résultats de l'année en cours deviennent les conditions de départ de l'année suivante) et a pris en compte de manière explicite les contraintes de risque agronomiques et économiques.

Nous avons dû utiliser un paramètre d'aversion au risque  $\Phi$  propre à chaque exploitant. Nous l'avons choisi de manière à minimiser l'écart entre modèle et réalité. Cela n'est pas sans poser de problèmes : Cet élément de comportement des acteurs dépend de la personnalité même de ceux-ci, mais très probablement aussi de l'environnement technico-financier de l'exploitation qu'ils gèrent. A l'échelle d'une petite région agricole, pour des exploitations dont l'activité est représentative, les choix stratégiques sont commandés par la santé financière de la firme. Peut-on considérer alors un comportement "moyen" par type de situation économique ? De quelle façon relier les données financières au coefficient  $\Phi$  ? Ce coefficient n'est-il pas fondamentalement un paramètre de calibration des résultats ?

De plus, dans les régions étudiées, la notion de risque peut varier, notamment le risque agronomique, et avoir un poids et un effet différents sur le modèle et sa stabilité.

Par ailleurs, les effets de la nouvelle politique sur les risques encourus par les exploitants sont ambigus : D'un côté, certains ont pu craindre que les primes ne leur soient pas payées, de l'autre, les primes indépendantes des quantités produites et des prix éliminent beaucoup de risques. Enfin, pour les productions qui se vendent "aux prix du marché", le risque est sans doute difficile à prévoir

On le voit, c'est là un problème complexe, mais qui en même temps, permet de donner une certaine dimension sociologique au modèle.

Quoi qu'il en soit les démarches entreprises dans les sept petites régions agricoles permettent de donner une idée précise de la pertinence des modèles bio-économiques comme outil d'analyse de politiques agricoles. Le cadre particulier de la réforme de la P.A.C. en fournit une bonne illustration, en essayant de comprendre quelles pourraient être l'évolution de la compétitivité des exploitations et leurs choix stratégiques pour s'adapter aux nouvelles conditions de marché. Les résultats obtenus pour des situations particulières donnent une idée réaliste des effets possibles de la réforme.

Etablie comme un ensemble de mesures visant à réguler l'offre agricole européenne et l'insérer dans un contexte de concurrence mondiale, la réforme de la P.A.C. devrait, à termes, avoir des effets de régulation des écarts de revenus entre les régions et les productions de céréales et d'oléo-protéagineux, et des impacts positifs sur la préservation des ressources naturelles par la diminution sensible des apports de produits agro-chimiques. De telles mesures, que l'on pourrait qualifier d'intégrées, dans la mesure où elles poursuivent des objectifs économiques et écologiques, seront-elles suffisantes pour lutter efficacement contre des pollutions massives, notamment des nappes phréatiques. L'urgence des situations ne réclame-t-elle pas des mesures plus énergiques pour favoriser l'adoption de pratiques culturales respectueuses de l'environnement ? Quelle serait l'efficacité de telles mesures ? Sont-elles compatibles avec la rationalité économique du producteur ?

Nous avons vu que l'approche réglementaire en termes de sauvegarde de la nature, disposait de différents outils. Nous nous proposons ici d'évaluer les conséquences économiques et écologiques possibles de l'utilisation de certains d'entre eux au moyen des modèles bio-économiques. Nous apprécierons donc, dans le cadre très précis de l'exploitation du Haut Pays d'Artois déjà étudiée, trois politiques de lutte contre les nitrates : la taxe à l'engrais, la redevance de pollution et la norme d'émission.

## LES MESURES RÉGLEMENTAIRES OU LA CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT IMPOSÉE

---

Ce chapitre présente successivement l'application des trois politiques d'environnement réglementaire retenues (taxe à l'engrais, redevance et norme de pollution) à l'échelle de l'exploitation agricole du Haut Pays d'Artois déjà décrite et leurs conséquences probables en termes de protection des nappes et de compétitivité économique. Néanmoins, l'objectif de ces simulations sera moins de promouvoir telle ou telle mesure -il faudrait pour cela élargir l'illustration à d'autres régions et systèmes productifs- que de montrer l'intérêt de la méthodologie comme outil de simulation et d'évaluation.

### SECTION I : LE CONTRÔLE À LA SOURCE : LA TAXE À L'ENGRAIS

#### I.1 LE CADRE DE LA MODÉLISATION

Le modèle utilisé ici, est celui développé pour analyser les impacts de la réforme de la P.A.C. dans le Haut Pays d'Artois, dans lequel la taxe à l'engrais est introduite sous la forme d'une contrainte supplémentaire. Celle-ci s'écrit :

$$Ce = \sum_{c,t,s,p} Iq_{c,t,s} \cdot X_{c,t,s,p} \cdot Te$$

avec :

$Ce$  : montant total de la taxe à l'engrais (en F).

$Iq_{c,t,s}$  : quantité d'azote apportée (kg/ha) sur chacune des cultures de l'emblavement optimal calculé.

$X_{c,s,t,p}$  : choix productif optimal de l'exploitant (exprimé en hectare par culture, type de sol, technique et précédent).

$Te$  : montant unitaire de la taxe à l'engrais (en F/kg d'azote apporté).

La valeur de la taxe à l'engrais ( $C_e$ ) est directement soustraite de l'équation du revenu. L'influence de la taxe sur les choix productifs de l'exploitant sera d'autant plus forte que la taxe unitaire est forte, mais aussi que les techniques sont intensives et les cultures choisies gourmandes en azote.

Pour analyser l'influence de cette nouvelle contrainte sur la décision de produire, notamment au niveau du choix des cultures et des techniques et appréhender les conséquences probables qu'elle pourrait avoir dans la maîtrise des pertes de nitrates, il est intéressant de simuler des taxes de différentes valeurs.

La comparaison de l'application de la taxe seule ou associée aux mesures prévues par la réforme de la P.A.C. devrait démontrer l'intérêt des politiques intégrées.

On ne prendra qu'une seule année de référence : 1997, année où la réforme est en régime de croisière<sup>1</sup>.

## I.2 LES RESULTATS

Suivant les scénarios, la valeur de la taxe à l'engrais au-delà de laquelle le modèle est infaisable<sup>2</sup> varie : 2 F/kg d'azote avec la réforme, 3 F/kg d'azote sans la réforme. La variation du montant de la taxe dans ces intervalles, n'a que peu d'influence sur le revenu (moins de 1 %, même si la pente de décroissance est plus forte en l'absence de réforme : graphique 1).

Les principaux changements, suite à l'instauration de cette taxe, devraient plus résider dans les techniques de production que dans l'assolement. En effet, dans l'un ou l'autre scénario, le choix des cultures produites ne varie pas en fonction de la valeur de la taxe (graphique 2). En revanche, l'augmentation du montant d'imposition, tend naturellement à favoriser le recours à des techniques moins intensives donc moins consommatrices d'engrais. Cette évolution est cependant différente selon les scénarios : l'application conjointe de la réforme et de la taxe devrait permettre d'atteindre plus vite un niveau d'extensification supérieur à celui obtenu dans le scénario sans réforme (graphique 3).

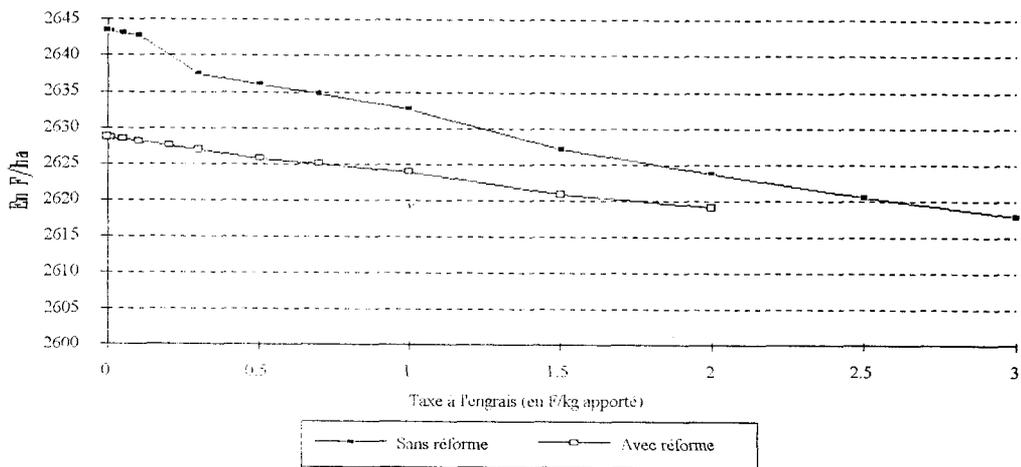
A l'image des techniques intensives qui décroissent, les quantités d'azote apportées et perdues diminuent avec l'augmentation de la taxe (graphique 4). Le scénario avec réforme conduirait à des économies d'azote plus importantes et à moindre taxe. A revenu égal, la réforme aboutit à une pollution moindre (graphique 5).

---

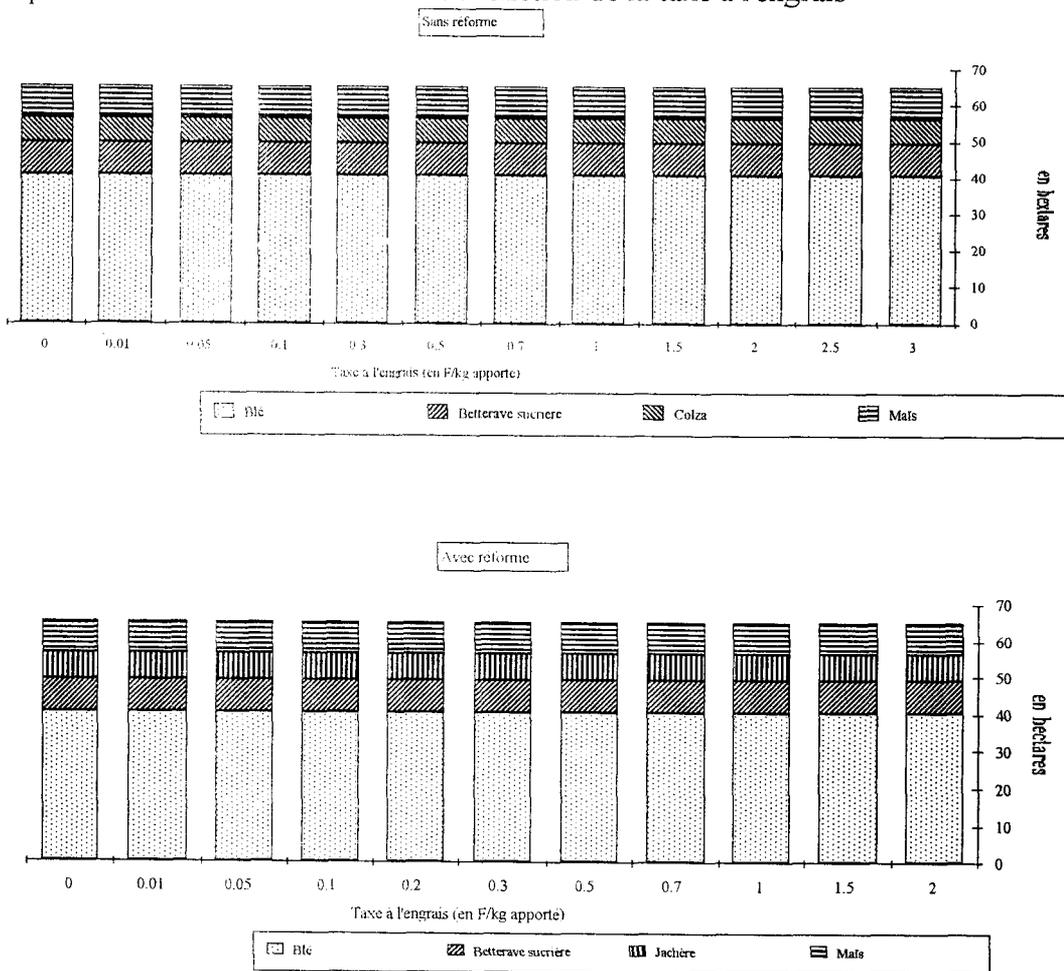
<sup>1</sup> Pour le scénario sans réforme, les prix 1997 sont égaux aux prix 1992.

<sup>2</sup> C'est-à-dire qu'il ne trouve pas de solution satisfaisant l'ensemble des contraintes. En d'autres termes, payer la taxe à l'engrais devient incompatible avec une activité productive rentable.

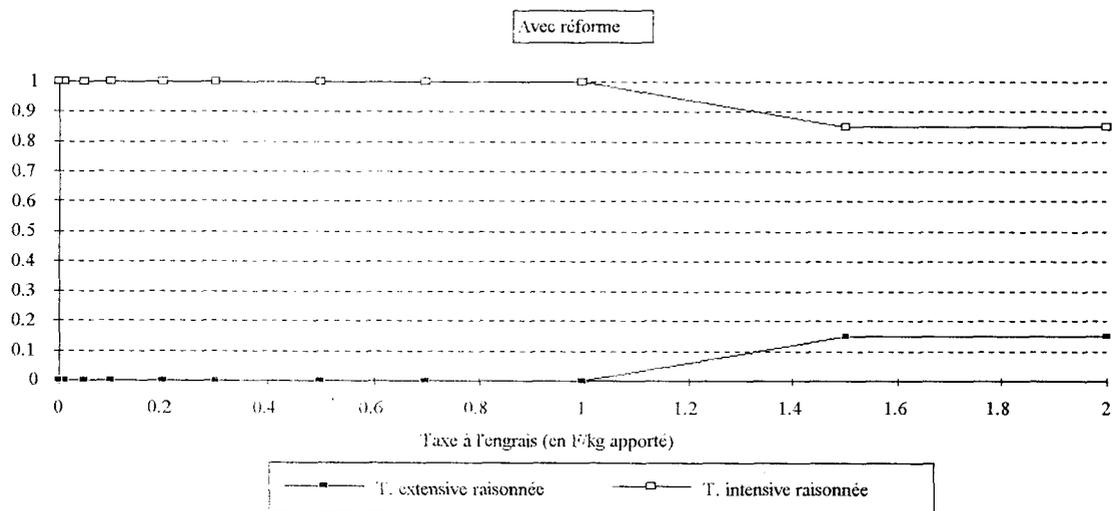
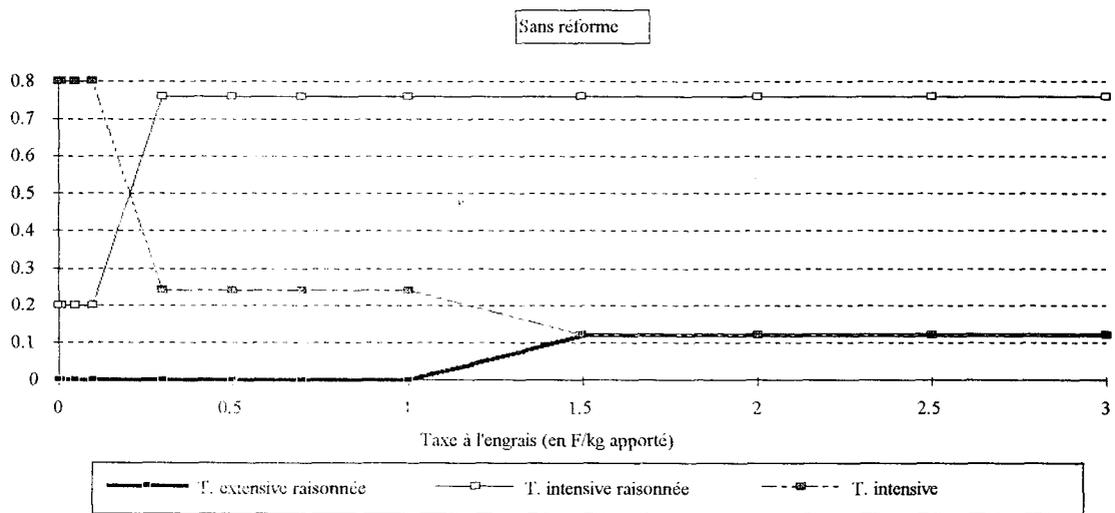
Graphique n°1 : Evolution du revenu en fonction de la taxe à l'engrais



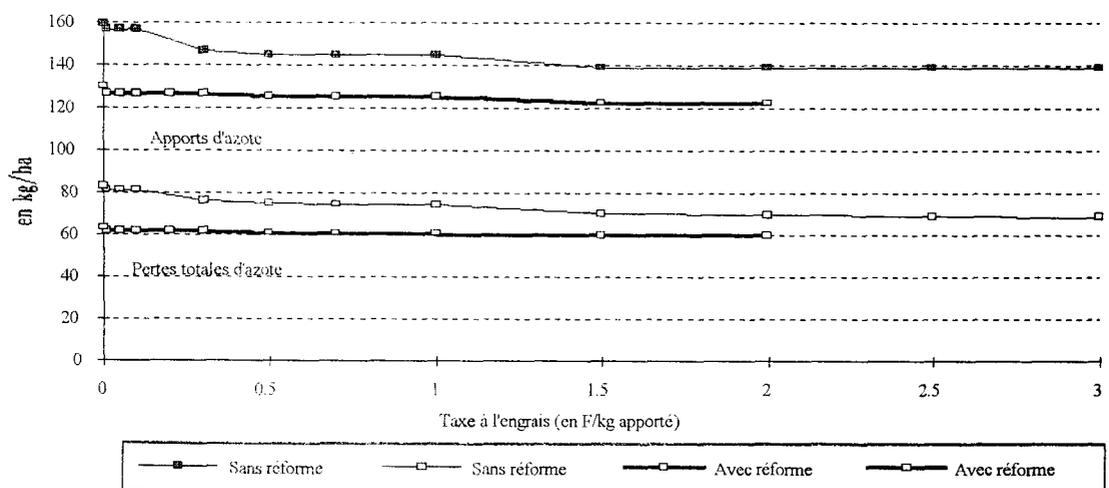
Graphique n°2 : Evolution des cultures en fonction de la taxe à l'engrais



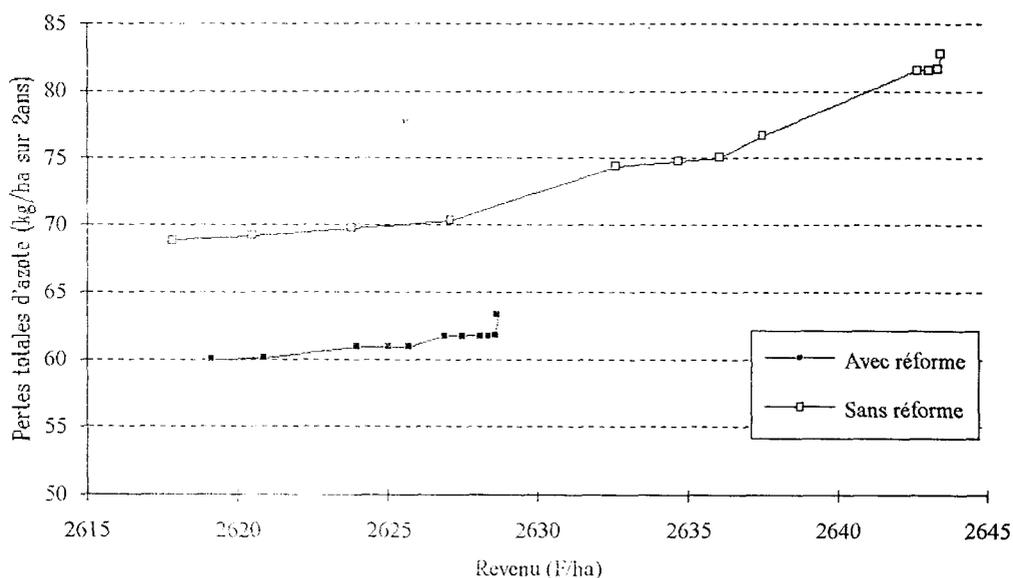
Graphique n°3 : Evolution des techniques en fonction de la taxe à l'engrais



Graphique n°4 : Apports et pertes d'azote en fonction de la taxe à l'engrais



Graphique n°5 : Comparaison des performances de la taxe à l'engrais avec et sans réforme de la P.A.C.



## SECTION II : LE CONTRÔLE À L'ÉMISSION : LA REDEVANCE DE POLLUTION

### II.1 LA REDEVANCE DE POLLUTION ANIMALE : UNE POLITIQUE D'URGENCE

Actuellement se met en place en France, une redevance de pollution visant à taxer la pollution issue des élevages. Ainsi des coefficients spécifiques de pollution ont été fixés, correspondant aux quantités de matières polluantes, telles que l'azote réduct, les matières en suspension, les matières oxydables et le phosphore, que produit par an, chaque élément du cheptel selon son type et son âge. Une redevance nette est calculée en associant à ces quantités -actuellement, seulement celles d'azote réduct et de matières oxydables- une taxe, dite redevance de pollution. Celle-ci est diminuée d'une prime calculée sur la base de la "qualité de récupération des effluents d'élevage" et des "conditions d'épandage" rencontrées sur l'exploitation<sup>3</sup>. La redevance brute moins la prime calculée représente donc la redevance nette, elle-même pondérée d'un coefficient de progressivité permettant une application graduelle dans le temps de ces mesures et l'adaptation des exploitations. Enfin, la redevance n'est mise en recouvrement

<sup>3</sup> On prend en compte par exemple, l'imperméabilité des aires de parcours, la qualité de collecte et de stockage des eaux blanches et pluviales, des jus de silos, des déjections. On regarde les plans d'épandage et le chargement à l'hectare, etc.

que si elle est supérieure ou égale au montant correspondant, dans la même zone de tarification, à la pollution à prendre en compte pour 200 équivalents habitants.

C'est le Bassin de Loire-Bretagne qui est l'initiateur de cette taxe car il est confronté à de très graves problèmes de pollution des eaux de surface et souterraines causés par la forte concentration des élevages porcins. Entrée en vigueur en 1995, pour une pleine application en 2002, la redevance de pollution, de par le système de la prime et du seuil de recouvrement, devrait surtout inciter les éleveurs à optimiser la récupération des effluents d'élevage et la gestion des épandages, plutôt que favoriser la rentrée de sommes d'argent importantes dans les caisses des Agences de Bassin. L'objectif est donc moins de payer la dépollution que de lutter à la source.

La redevance de pollution animale est-elle efficace à l'échelle d'une région comme le Haut Pays d'Artois, région d'élevage laitier ? Pour tenter de répondre à cette question, nous avons repris le modèle bio-économique, précédemment développé, dans lequel nous introduisons le calcul de la redevance venant grever le revenu de l'éleveur.

#### II.1.1 LA MODÉLISATION

La modélisation de la redevance de pollution d'élevage reprend la démarche du calcul successif de la redevance brute, de la redevance nette et de la redevance à payer.

La redevance brute est directement fonction du cheptel présent sur l'exploitation. Elle représente la pollution annuelle produite par l'élevage. Ainsi chaque Unité de Gros Bovin (U.G.B.) produit par an 0,2 kg d'azote réductible et 1,8 kg de matières oxydables, respectivement taxés à 258,22 F et 148,27 F.

Nous nous sommes placés dans la situation la plus défavorable pour le calcul de la prime afin d'observer l'effet maximal de la redevance sur le comportement de l'exploitant simulé. Cette situation équivaut à une réduction de moins de 80 % des déjections liquides et solides et à un stockage étanche de ces dernières dans une capacité inférieure à deux mois. Soit un coefficient de prime de 0,48, ce qui revient à dire que 52 % de la redevance brute constituent la redevance nette. De plus, nous avons pris l'hypothèse forte que l'exploitation n'améliorait pas son coefficient de prime dans le temps.

Cette dernière est comparée au seuil de recouvrement qui évolue dans le temps (5 262 F en 1995, 5 660 F en 1996, 6 026 F en 1997 et 6 400 F en 1998). Au-delà de ce seuil, la redevance nette est à payer après pondération par le coefficient de progressivité qui ne sera égal à un qu'à partir de 2003.

Deux scénarios sont comparés : situation où la taxe s'applique à partir de 1995 et situation où la redevance n'existe pas.

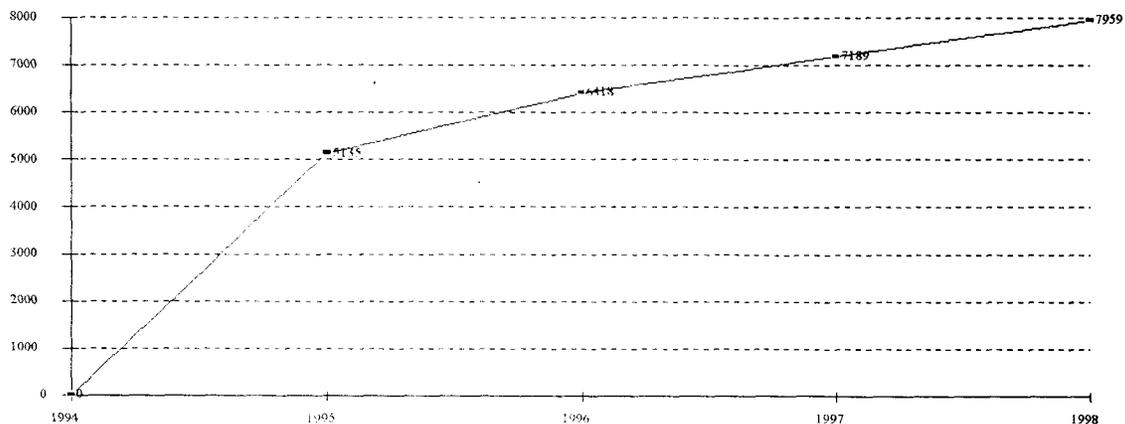
## II.1.2 LES RESULTATS

En tant qu'exploitation laitière, l'exploitation de référence se doit d'honorer son quota et ne possède en fait que très peu de marge de manoeuvre pour adapter la taille de son troupeau en réponse à une taxe directement calculée sur l'effectif.

A l'échelle du cheptel mâle, la valorisation économique de la viande reste suffisamment attractive pour que l'exploitation n'ait pas intérêt à réduire le nombre des taurillons, plus lourdement taxés que les veaux. L'objectif de la mesure n'est évidemment pas de contrôler l'offre de la production animale.

Dans notre exemple, qui couvre uniquement les années 1994-1998, la redevance brute correspond à environ 25 000 F par an. Le coefficient de prime de 0.48 ramène la taxe à près de 13 000 F. Le jeu du coefficient de progressivité diminue fortement la somme à déboursier effectivement (graphique 1).

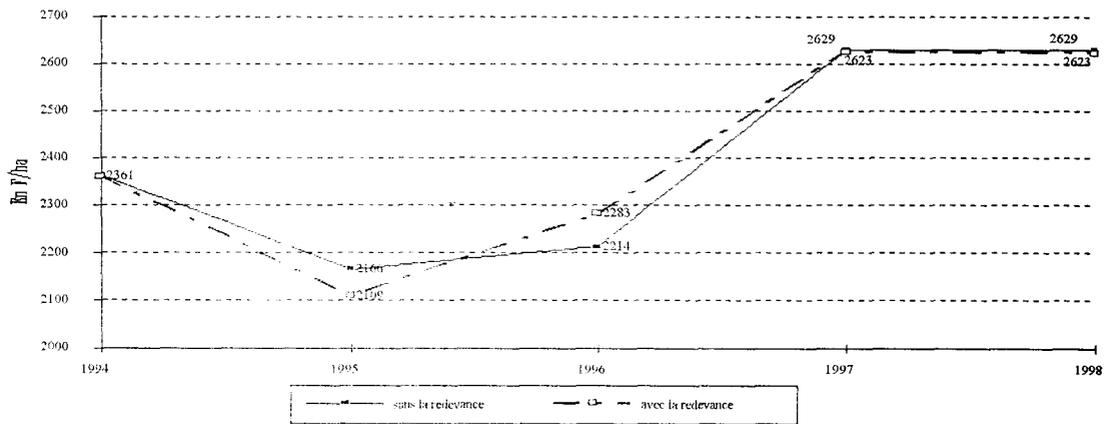
Graphique n°1 : Redevance élevage : évolution de la redevance de pollution payée (en F)



Comment s'adapte l'exploitant à cette ponction supplémentaire ?

La première année de mise en place de la redevance (1995), le revenu agricole accuse le poids de la redevance. En revanche, dès 1996, le retard est plus que comblé, pour arriver en 1997 et 1998 à des revenus équivalents pour les deux scénarios (graphique 2).

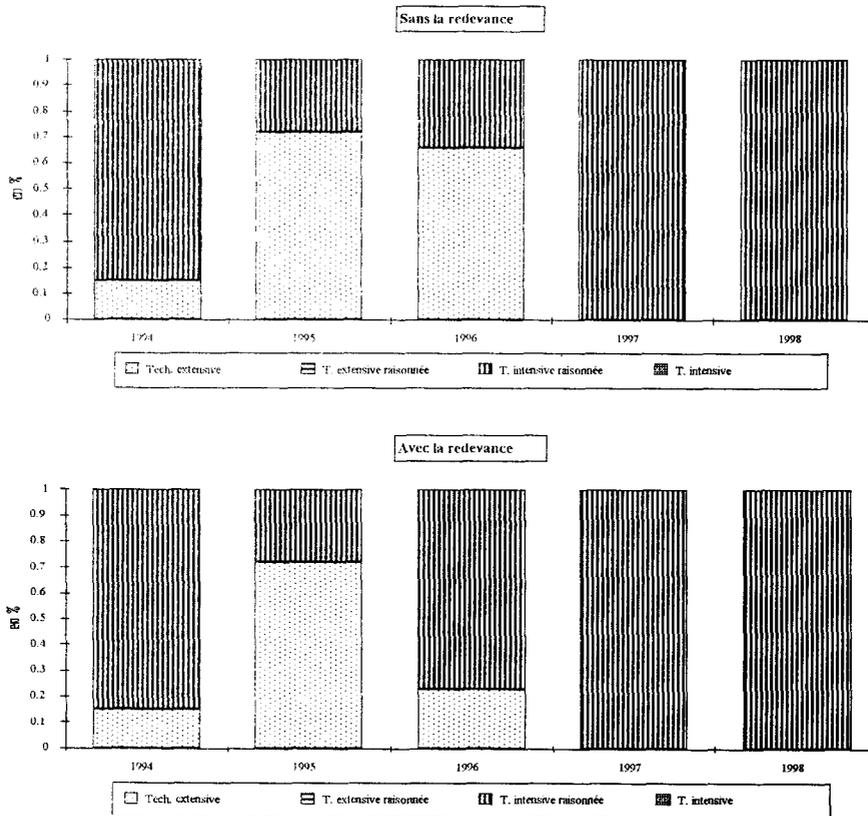
Graphique n°2 : Redevance élevage : évolution du revenu agricole



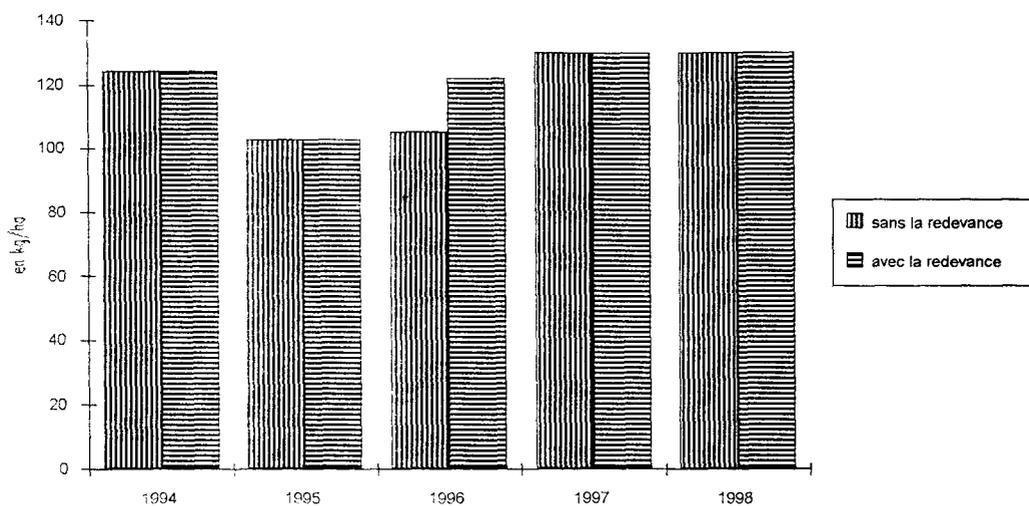
L'exploitant a semble-t-il trouvé les moyens de s'adapter pour contourner la contrainte de la redevance de pollution et maintenir son revenu.

Cette adaptation ne se situe pas au niveau du choix des cultures produites, strictement identique entre les deux situations, mais à l'échelle des techniques de production. L'application de la redevance a pour conséquence, la diminution accélérée en 1996 de la part de la technique extensive, au profit de la technique intensive raisonnée. Par la suite, les deux scénarios sont identiques (graphique 3). En termes de pollution azotée, ce décalage observé sur cette seule année 96, est visible (graphiques 4 et 5).

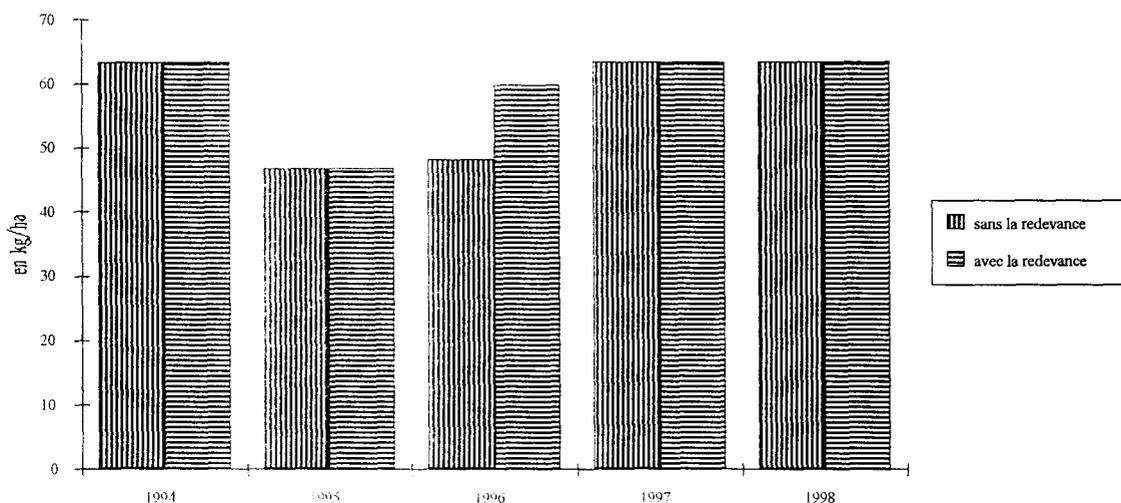
Graphique n°3 : Redevance élevage : évolution des techniques culturales



Graphique n°4 Redevance élevage : évolution des apports d'azote



Graphique n°5 : Redevance élevage : évolution des pertes totales d'azote



Il ne s'agit ici, évidemment, que du cas particulier d'une exploitation où l'élevage est peu important et où les montants de redevance sont suffisamment faibles pour ne pas entraîner de bouleversement dans les comportements. De plus, dans la réalité, l'éleveur aurait très certainement réagi pour améliorer la collecte, le stockage et l'épandage des effluents afin d'augmenter son coefficient de prime et baisser le montant de la redevance, ce qui est bien l'objectif premier de cette mesure. Néanmoins, un tel exemple nous montre que la redevance de pollution sur l'élevage combattra les pollutions organiques, souvent massives car liées à des fuites ou à des épandages aberrants, par une meilleure gestion des déjections animales, mais qu'elle ne devrait pas intervenir sur les pollutions minérales, plus diffuses, issues de l'emploi d'engrais de synthèse pour la production végétale. Dans ces conditions, la redevance actuelle ne peut être qu'une première étape et il conviendra à terme de mettre en place des mesures permettant une utilisation de l'azote plus respectueuse du milieu naturel.

## II.2 LA REDEVANCE DE POLLUTION VEGETALE : LE DEFI

Aujourd'hui, on pratique de façon courante la mesure des reliquats d'azote à la sortie d'hiver. On peut ainsi estimer les réserves disponibles pour la culture à mettre en place et adapter les apports à réaliser pour répondre aux besoins des plantes<sup>4</sup>. Ces prélèvements ponctuels ne permettent pas de juger des pertes d'azote vers la nappe. En revanche, un relevé continu sur l'année ramené aux apports réalisés et aux prélèvements de la plante permettrait d'approcher les volumes d'azote effectivement "perdus". Cependant, la mise en place d'un tel dispositif au-delà de l'échelle expérimentale demeure impensable.

Dans ces conditions, les outils de simulation présentent un intérêt certain. Ainsi, un logiciel comme E.P.I.C. permet de suivre quotidiennement le comportement de l'azote dans le sol en fonction des apports de l'exploitant ou du sol, des prélèvements de la culture en place, des conditions météorologiques, des caractéristiques physico-chimiques du substrat. Aujourd'hui, les agronomes de l'I.N.R.A., notamment ceux de la station expérimentale de Toulouse, utilisent E.P.I.C. pour caractériser la production végétale et se libérer de plus en plus des contraintes liées aux expérimentations de terrain (durée d'attente des résultats, limitation du nombre d'essais). Pour cela, ils ont développé des versions d'E.P.I.C. plus "interactives" dans lesquelles les données introduites (climat, opérations culturales, ...) peuvent être modifiées en cours de simulation afin de tenir compte des possibles aléas climatiques et des réponses qui leur sont apportées par l'exploitant agricole. Il est ainsi possible de prévoir l'influence de tel ou tel paramètre sur les performances agronomiques des cultures. Mais il est également possible, sur la base des données climatiques journalières et des pratiques culturales réellement observées sur une parcelle déterminée, de reproduire, en temps réel, la fonction de production agricole d'une campagne. Parallèlement, on peut suivre précisément dans le temps, les paramètres intervenant dans la production de biomasse tels que l'eau disponible ou l'azote dans le sol ou perdu par ruissellement et percolation.

Utiliser E.P.I.C. pour déterminer les pollutions nitratées réelles que l'activité agricole engendre est donc tout à fait réalisable mais demande un niveau de précision des données très élevé, et un suivi quotidien des événements intervenant à l'échelle de la parcelle testée. Bref, des conditions d'application lourdes à mettre en place.

Cependant les outils de simulation, une fois calibrés, c'est-à-dire capables de bien caractériser les processus agronomiques d'une région donnée, présentent le grand intérêt de prévoir les effets polluants de divers scénarios climatiques et culturels. Et ceci en très peu de temps.

L'agriculteur n'est pas responsable des conditions naturelles. En revanche, son comportement peut influencer sur les quantités de nitrates effectivement entraînées vers les nappes phréatiques. Ne pourrait-on pas imaginer de simuler à l'aide d'E.P.I.C., pour chaque agriculteur, sur la base de ses pratiques culturales réelles, les pertes d'azote, en prenant successivement différentes hypothèses climatiques acceptables pour la région<sup>5</sup> ? Il suffirait alors, par exemple, de choisir entre ces différents scénarios ou combinaison de scénarios pour indiquer le risque que l'activité de chacun représente en termes de pollution nitratée.

---

<sup>4</sup> Ces besoins sont estimés en fonction d'un objectif de rendement agronomiquement réalisable.

<sup>5</sup> Sur la base des statistiques météorologiques, on pourrait déterminer plusieurs années climatiques types pour la région.

La mise en place d'un tel système pose aujourd'hui plus de questions qu'elle n'apporte de solutions : comment relier niveaux de redevance et quantités de pollution ? Faut-il raisonner par région, par culture, par pratique ? Quels scénarios climatiques retenir pour calculer des quantités de pollution de référence ? etc. On le comprend, le calcul d'une redevance de pollution par cette approche demanderait des années de tests et de négociations.

Cependant, la connaissance des quantités d'azote effectivement perdues en fonction de la culture, du précédent, du sol et de la technique à l'échelle de l'exploitation de référence du Haut Pays d'Artois peut déjà montrer l'influence que pourrait avoir la redevance de pollution sur les choix productifs d'un exploitant agricole.

### II.2.1 LA MODELISATION

En effet, E.P.I.C. calcule pour chacune de ces combinaisons productives, les rendements, mais aussi les pertes totales d'azote. On peut, ainsi, introduire dans le modèle une contrainte supplémentaire visant à limiter ces pertes en les taxant d'une redevance. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$Cr = \sum_{c,t,s,p} Nittot_{c,t,s,p} \cdot X_{c,s,t,p} \cdot Tr$$

avec :

Cr : montant total de la redevance en F

Nittot<sub>c,t,s,p</sub> : quantité d'azote perdu par percolation et ruissellement (en kg/ha).

X<sub>c,s,t,p</sub> : emblavement optimal (en ha).

Tr : montant de la redevance de pollution (en F/kg d'azote perdu à l'hectare).

Le montant de la redevance (Cr) est soustraite de l'équation du revenu de la même manière que la taxe à l'engrais.

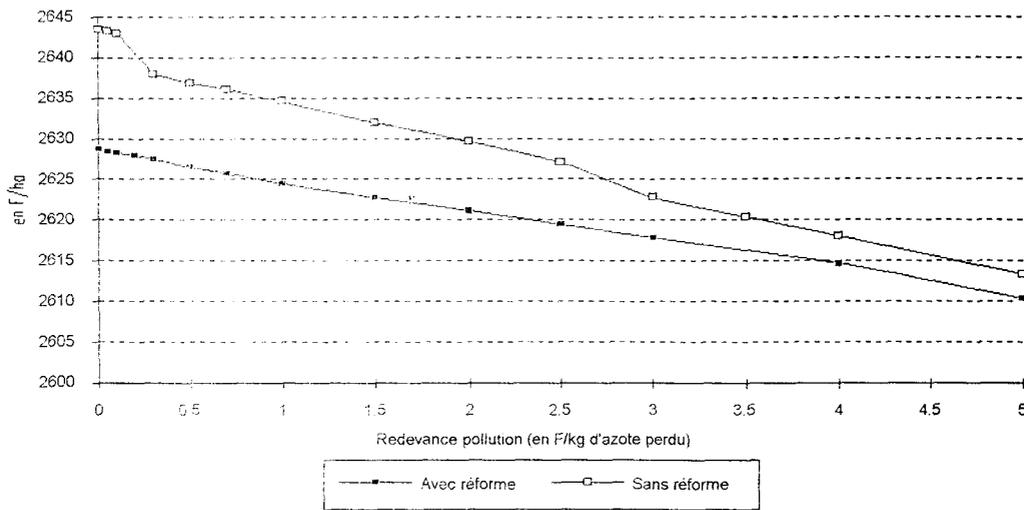
Différents niveaux de taxe ont été simulés, avec et sans la réforme de la P.A.C., à l'échelle de l'exploitation de référence du Haut Pays d'Artois. Nous pouvons ainsi examiner l'influence du coût payé par le pollueur dans ses choix de production et sa compétitivité économique et l'impact de la mesure sur la préservation des ressources en eau.

### II.2.2 LES RESULTATS

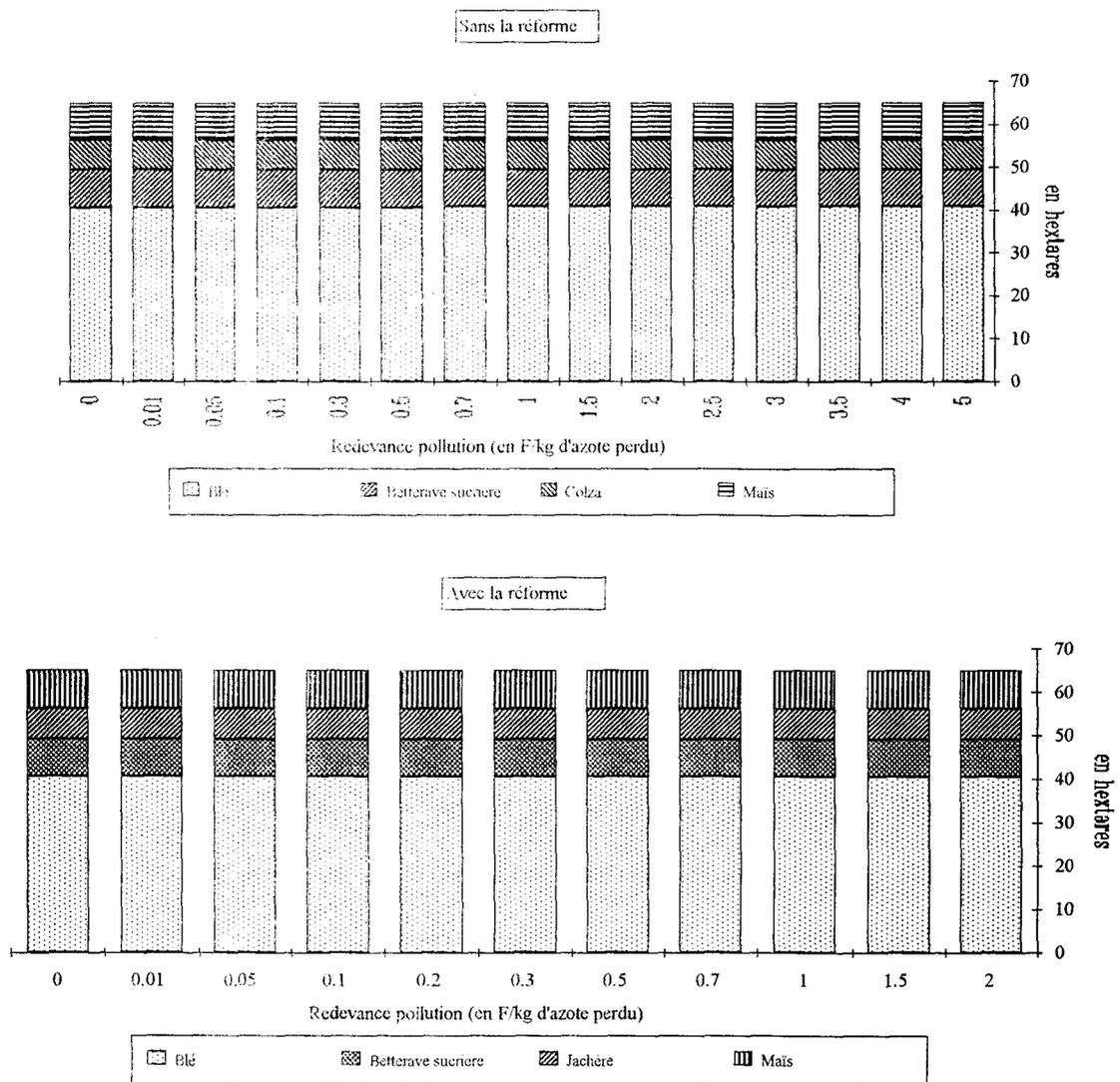
Les remarques que nous pouvons faire au regard des résultats donnés par le modèle sont assez proches de celles faites dans le cadre de la modélisation de la taxe à l'engrais :

- Les tendances sont toujours renforcées quand la réforme de la P.A.C. accompagne la mise en place de la redevance.
- Le revenu est peu affecté par l'importance de la redevance (graphique 1).
- L'évolution du montant de la redevance n'induit aucun changement dans l'assolement (graphique 2).
- Plus la redevance est élevée, plus les techniques extensives prennent de l'importance (graphique 3) et les quantités d'azote apporté et perdu diminuent (graphique 4).

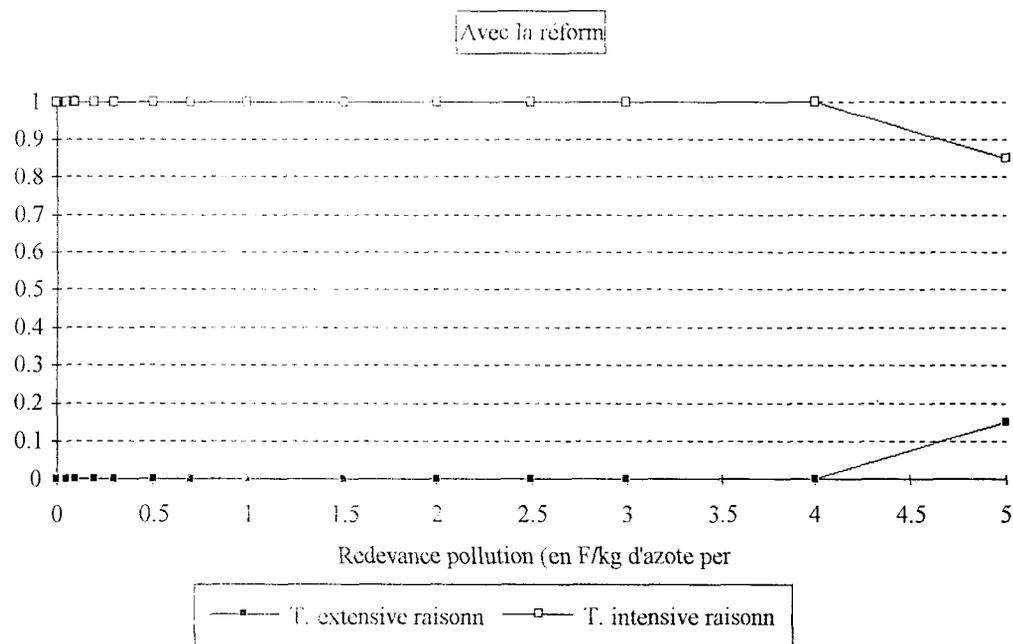
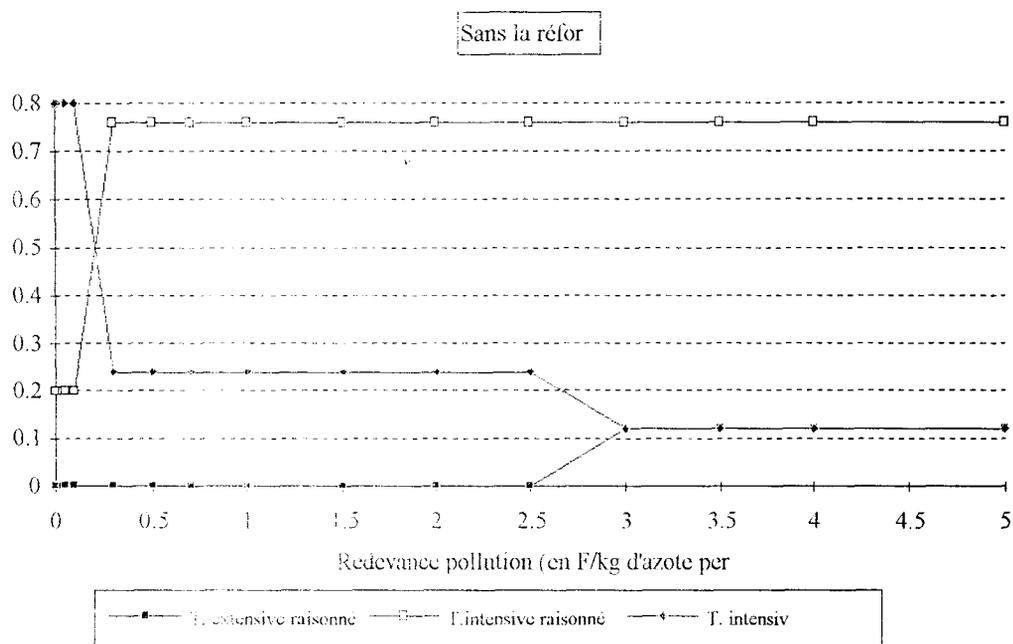
Graphique n°1 : Evolution du revenu agricole en fonction de la redevance culture



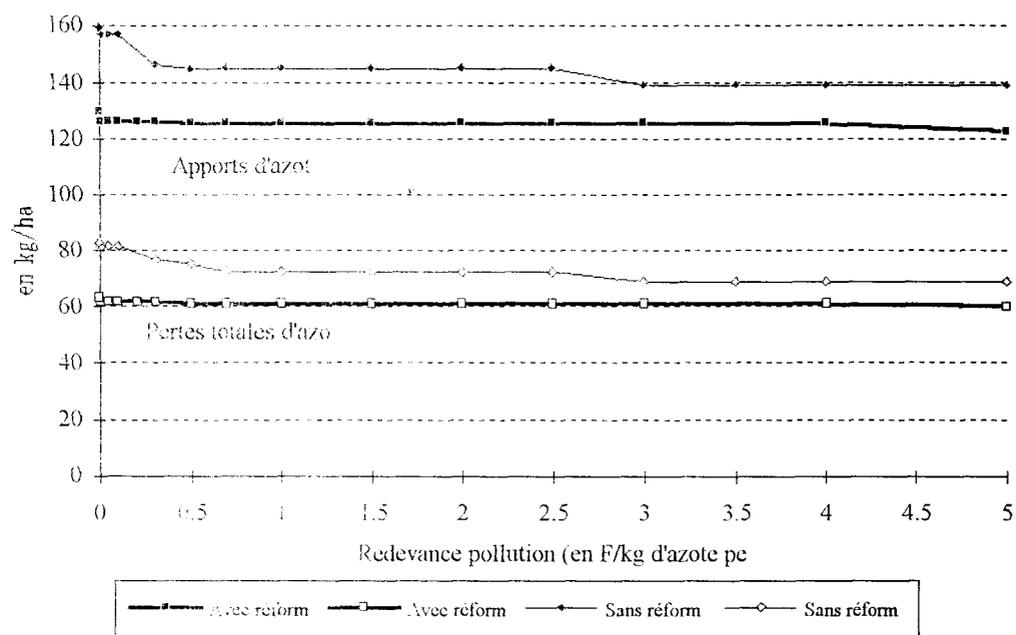
Graphique n°2 : Evolution de l'assolement en fonction de la redevance culture



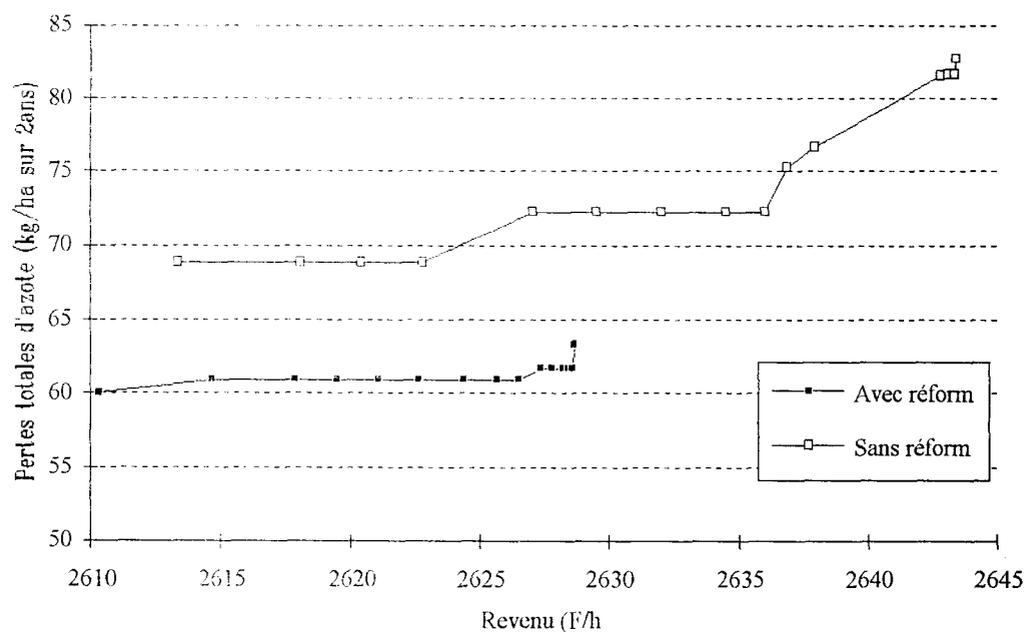
Graphique n°3 : Evolution des techniques culturales en fonction de la redevance culture



Graphique n°4 : Apports d'azote et pertes de nitrates en fonction de la redevance culture



Graphique n°5 : Comparaison des performances de la redevance culture avec et sans réforme de la P.A.C.



## SECTION III : LE CONTRÔLE DIRECT : LA NORME DE POLLUTION

### III.1 LA MODÉLISATION

L'introduction d'une norme de pollution intervient comme une contrainte supplémentaire à laquelle le producteur doit se soumettre. Contrairement à une taxe qui touche le revenu, et oblige l'agent à faire des arbitrages entre polluer et payer, la norme s'impose comme un seuil maximal de pollution à ne pas dépasser. Le choix productif optimal sera donc celui qui à la fois n'engendre pas une pollution supérieure au seuil fixé et permet d'obtenir un revenu maximal.

La difficulté majeure réside dans la fixation de ce seuil de pollution, qui doit être suffisamment élevé pour réellement contribuer à la préservation du milieu, mais aussi réaliste pour être compatible avec les réalités pédo-climatiques, agronomiques et économiques des exploitations auxquelles il s'applique. De plus, la mise en place d'une telle contrainte exige de se donner les moyens de vérifier qu'elle est effectivement respectée par les agriculteurs et d'appliquer, le cas échéant, des sanctions suffisamment incitatives.

Ici, nous proposons de modéliser l'application d'une norme de pollution en posant l'hypothèse que le producteur respecte obligatoirement la contrainte<sup>6</sup>. La pollution "maximale" caractéristique de la région et de l'exploitation de référence est déterminée par le modèle non contraint<sup>7</sup>. Le seuil de pollution est établi comme un pourcentage de cette valeur et correspond aux pertes maximales autorisées sur l'exploitation.

L'efficacité et les impacts de la contrainte sont évalués en faisant varier le seuil.

Algébriquement, on a :

Nitmx est la quantité globale de nitrates perdus par l'exploitation de référence quand le producteur n'a aucune contrainte d'environnement à respecter.

$$Nitmx = \sum_{c,t,s,p} Nittot_{c,t,s,p}^* \cdot X_{c,t,s,p}^*$$

avec :

$Nittot_{c,t,s,p}^*$  : quantité (kg) d'azote perdu par percolation et ruissellement par hectare, par culture, par technique, par type de sol, par précédent cultural.

$X_{c,s,t,p}^*$  : choix productif optimal de l'exploitant en hectare, par culture, technique, précédent et type de sol.

<sup>6</sup> Il n'a pas le choix entre respecter la contrainte ou payer une amende en cas de fraude révélée.

<sup>7</sup> Au choix productif optimal calculé par le modèle non contraint du point de vue de la pollution, correspond des pertes de nitrates. Celles-ci sont globalisées pour calculer le seuil maximal.

Nitseuil, seuil ou norme de pollution, est calculé comme un pourcentage (Tp) de Nitmx :

$$\text{Nitseuil} = T_p \cdot \text{Nitmx}$$

On peut alors introduire dans le modèle, la contrainte de pollution sous la forme suivante :

$$\text{Nitseuil} \geq \sum_{c,t,s,p} \text{Nittot}_{c,t,s,p} \cdot X_{c,s,t,p}$$

La fonction objectif du revenu restant inchangée.

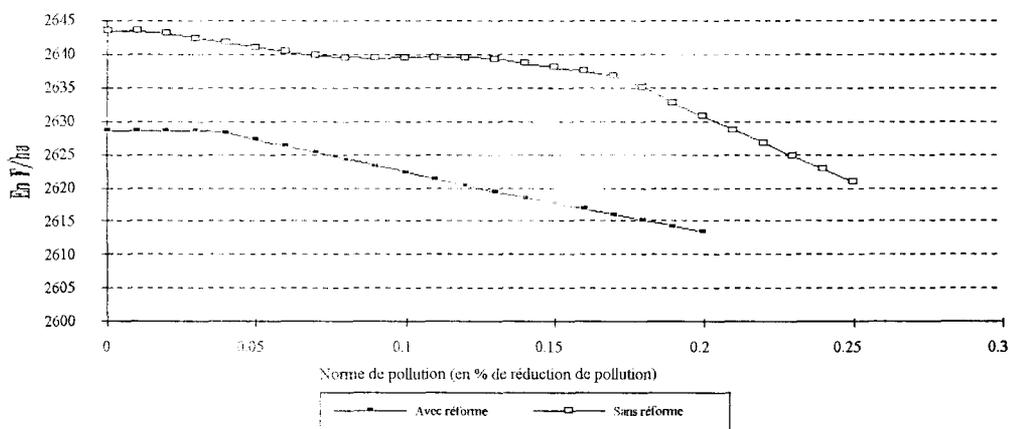
Plusieurs niveaux de réduction de la pollution (Tp) ont ainsi été testés selon les deux scénarios avec réforme et sans réforme définis plus haut.

### III.2 LES RÉSULTATS

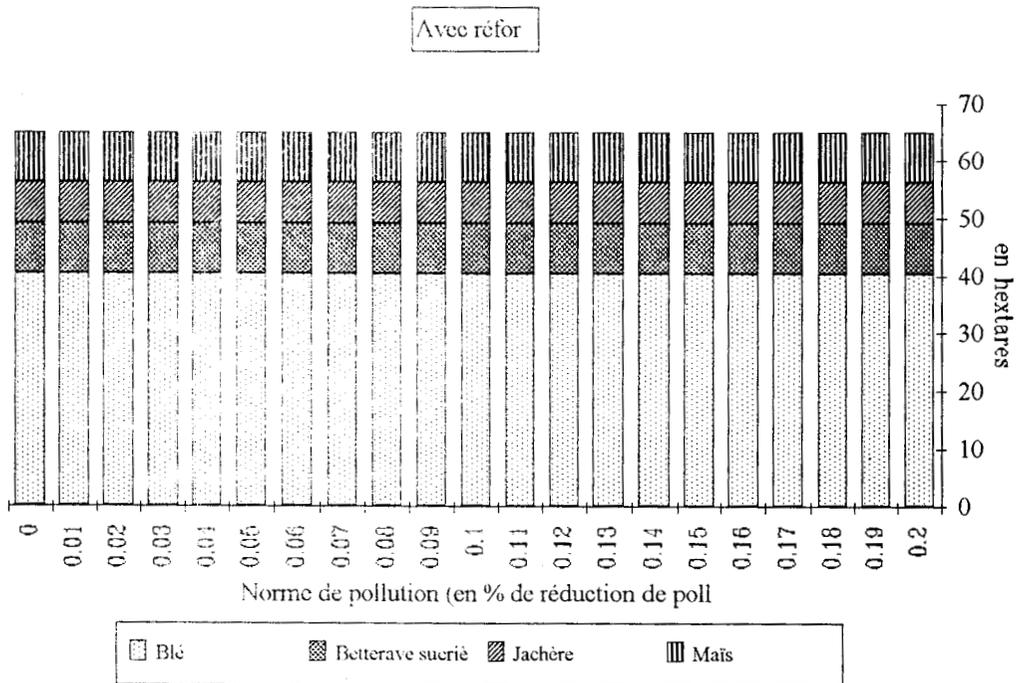
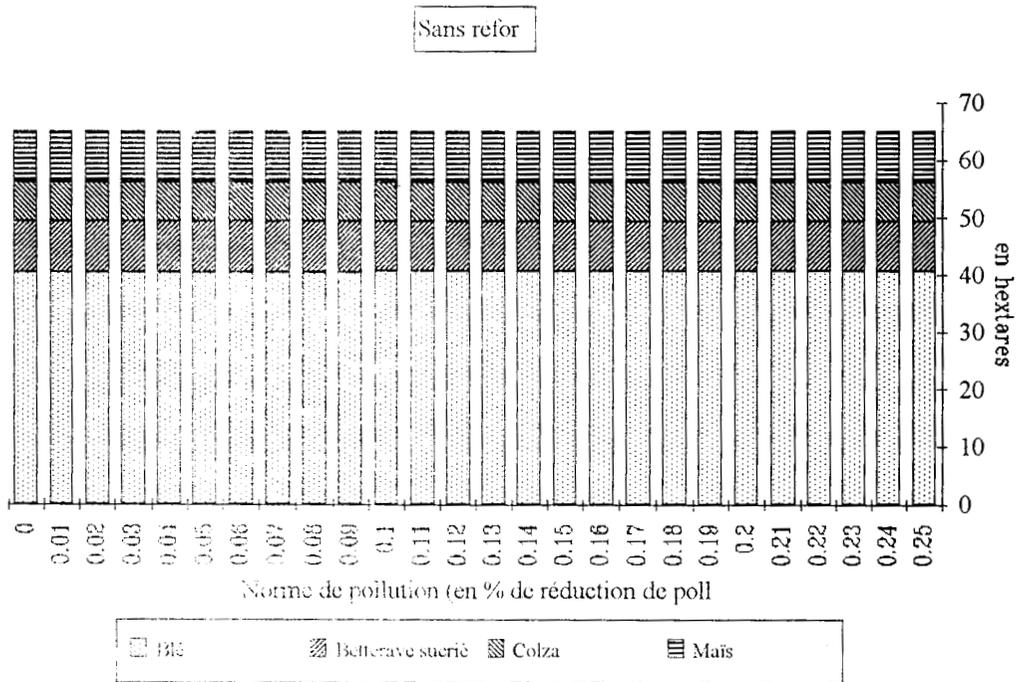
Le revenu agricole baisse logiquement quand l'effort pour diminuer la pollution croît. Cependant, l'agriculteur réussit à s'adapter pour que cette perte de revenu demeure faible (moins de 1 %, graphique 1). En effet, si l'assolement demeure inchangé (graphique 2), les techniques culturales évoluent en faveur des techniques plus extensives (graphique 3). Les apports d'azote et les pertes par lessivage diminuent en conséquence (graphique 5).

Associer les mesures de la réforme de la P.A.C. à la mise en place de la norme conduit à des performances économiques similaires mais supérieures du point de vue de la sauvegarde de l'environnement.

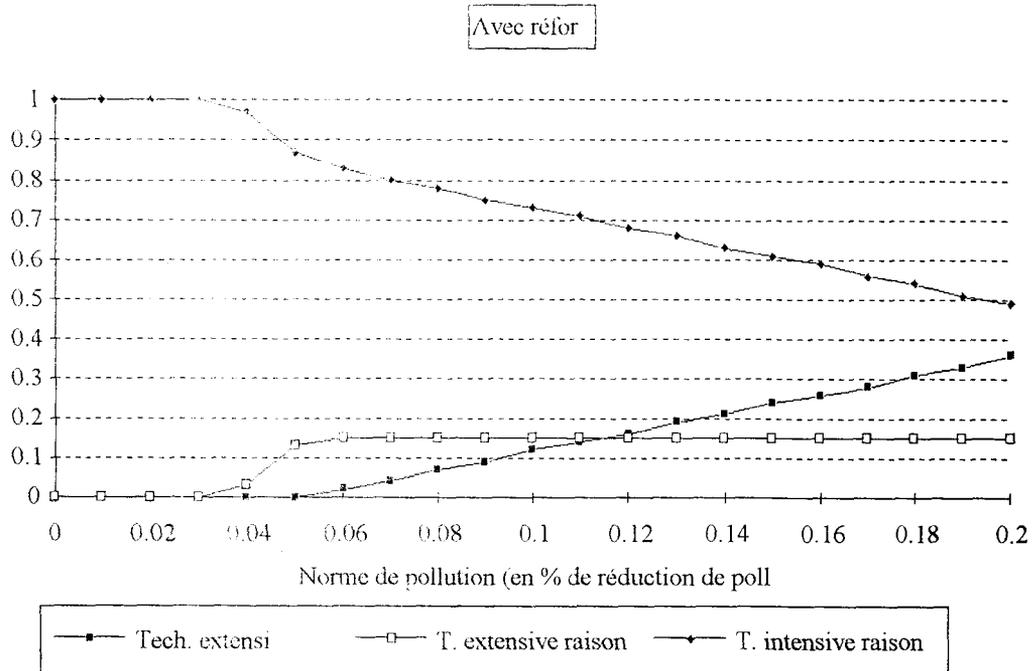
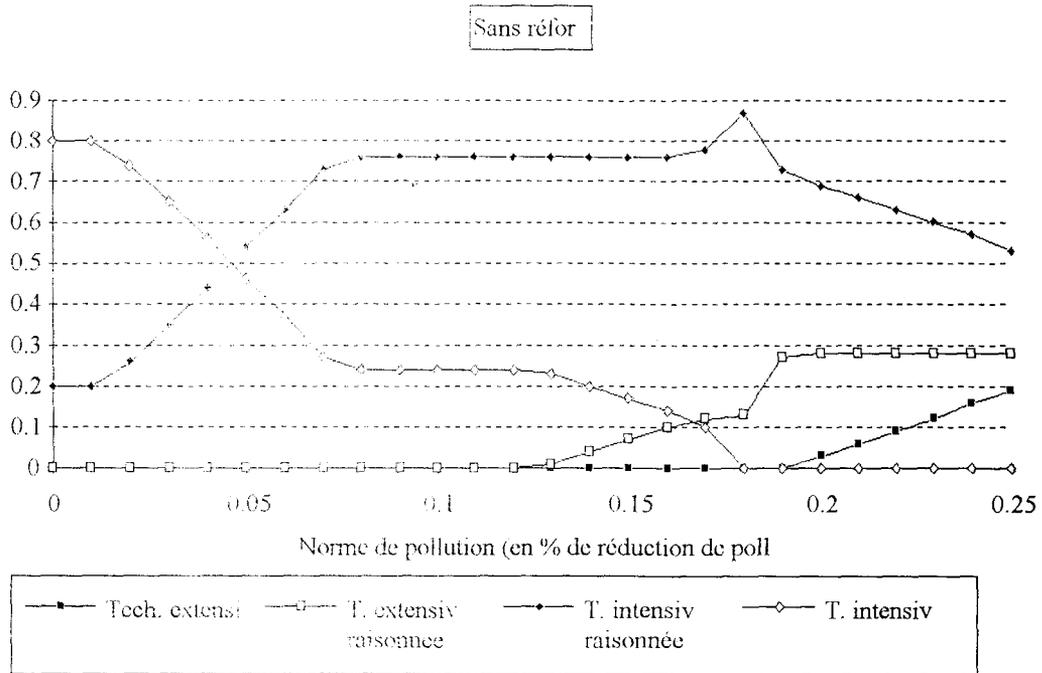
Graphique n°1 : Evolution du revenu agricole en fonction de la norme



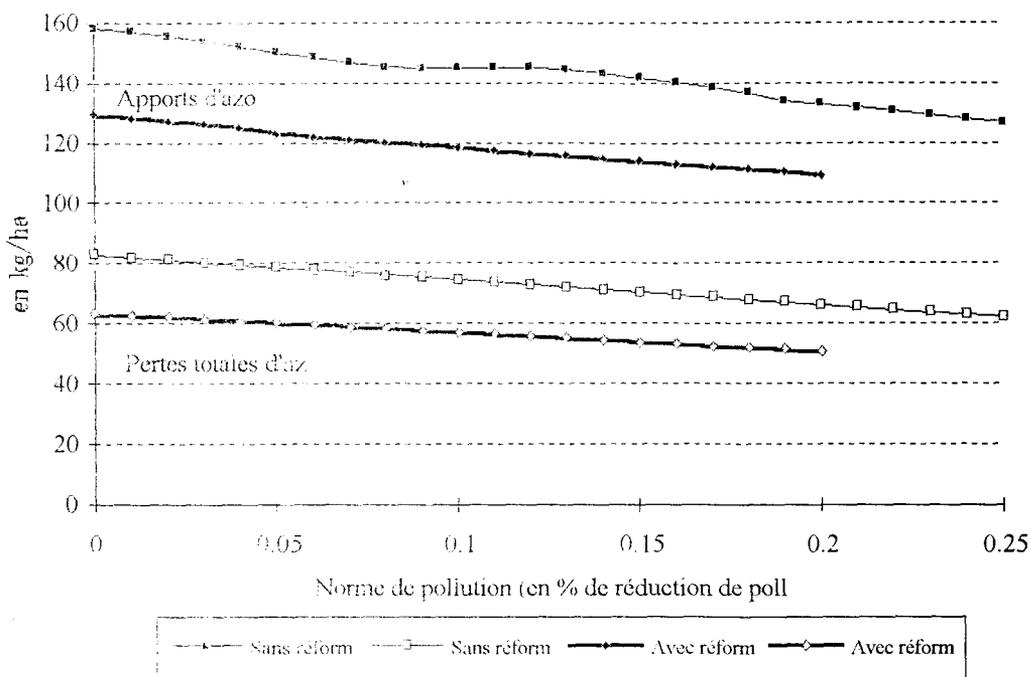
Graphique n°2 Evolution de l'assolement en fonction de la norme



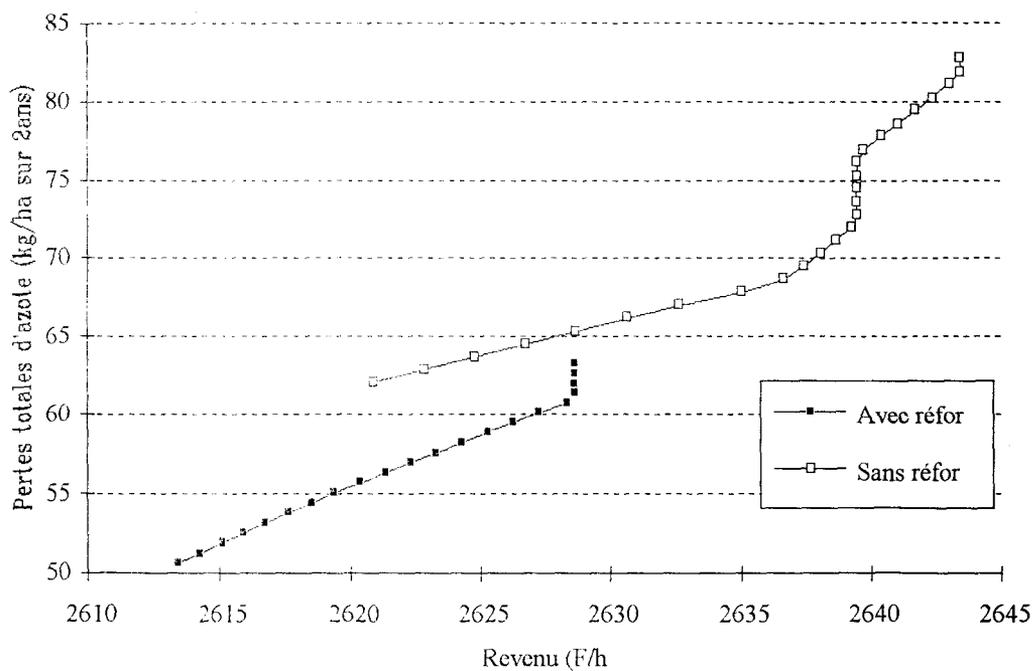
Graphique n°3 : Evolution des techniques culturales en fonction de la norme



Graphique n°4 : Apports et pertes d'azote en fonction de la norme



Graphique n°5 : Comparaison des performances de la norme avec et sans réform de la P.A.C.



Trois politiques d'environnement viennent d'être testées au moyen d'un modèle bio-économique construit pour une exploitation de référence du Haut Pays d'Artois. Dans tous les cas, le modèle a répondu en limitant les pertes de revenu grâce à une stratégie d'adaptation des techniques de production.

La comparaison des scénarios avec et sans réforme a montré l'intérêt des politiques intégrant à la fois des objectifs économiques et écologiques.

Cependant toutes ces méthodes n'ont pas le même degré d'efficacité comme nous le montre l'analyse comparée des résultats.

#### **SECTION IV : TAXE A L'ENGRAIS, REDEVANCE DE POLLUTION, NORME : QUE CHOISIR ?**

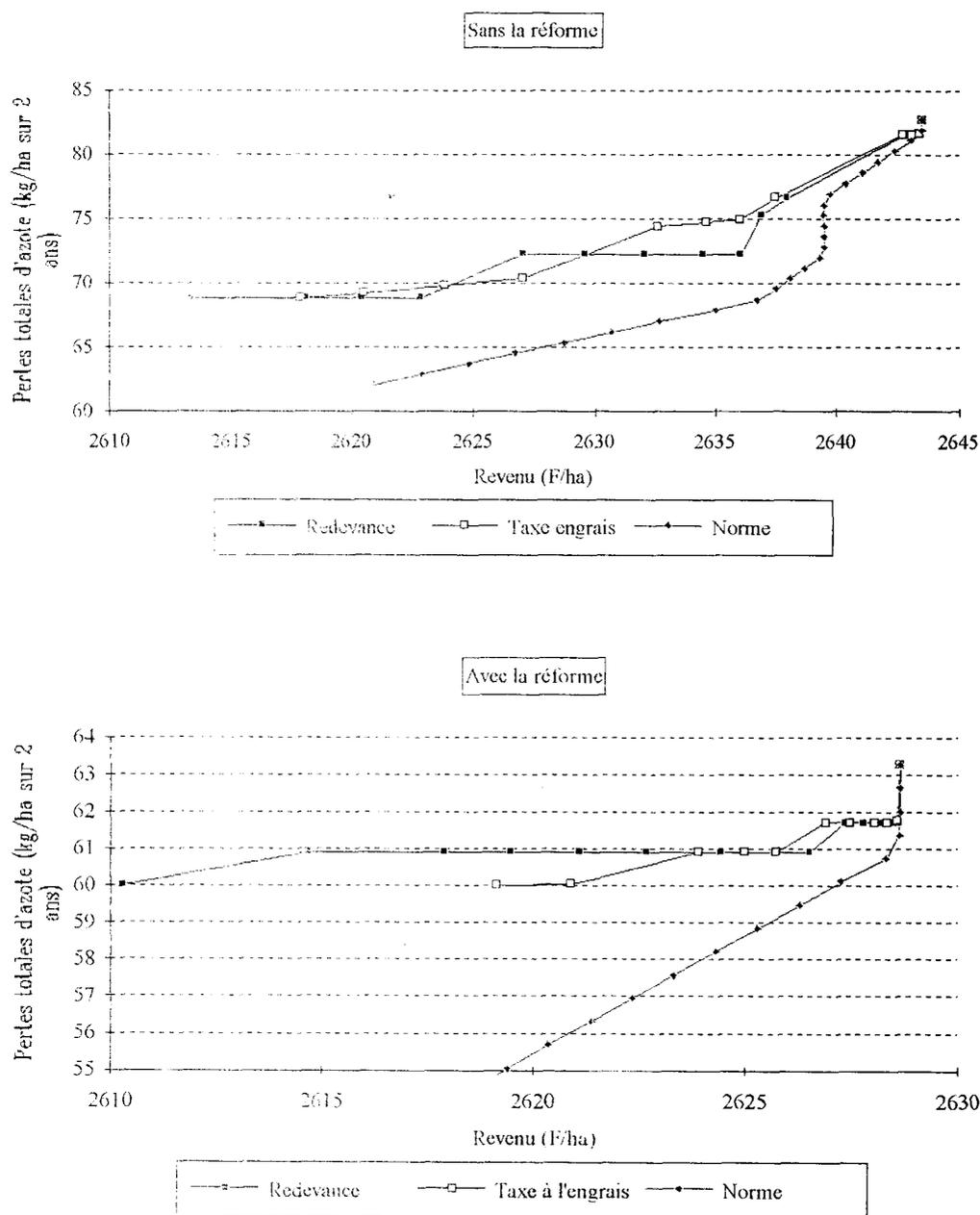
Les modèles bio-économiques nous ont permis d'aborder de manière quantitative les impacts de trois outils de lutte contre la pollution d'origine agricole à l'échelle d'une exploitation du Haut Pays d'Artois dont l'activité se répartit entre la production de lait, de céréales et grandes cultures.

Il s'agit, nous le rappelons, d'un exercice unique à portée limitée. Néanmoins, cette approche nous permet, à cette échelle, de comparer les trois politiques sous le double objectif de la compétitivité économique et de la protection de l'environnement.

##### **IV.1 UN DOUBLE OBJECTIF ÉCONOMIQUE ET ÉCOLOGIQUE : LES RÉPONSES DU MODÈLE**

Nous comparons ici la relation entre le revenu agricole et les pertes d'azote des trois politiques associées ou non à la réforme de la P.A.C. (graphique 1).

Graphique n°1 : Performances économiques et écologiques des trois politiques



La comparaison des trois méthodes montre que pour un niveau de revenu donné, les politiques de taxation (taxe à l'engrais et redevance de pollution) aboutissent à des pollutions plus importantes (jusqu'à 10 %) que celles observées lors de l'imposition d'une norme de pollution. Ces écarts sont plus accentués quand les politiques d'environnement testées ne sont pas associées à l'application de la réforme de la P.A.C.

De plus, la réponse du modèle à l'imposition des engrais épandus ou des matières polluantes rejetées, n'est pas progressive. L'agriculteur ne s'adaptant, c'est-à-dire changeant ses techniques de productions, que lorsque la taxe devient trop lourde. Ceci explique que son revenu puisse baisser sans amélioration pour l'environnement. Au contraire, fixer directement l'objectif de pollution au moyen de la norme, dans un modèle où l'objectif reste de maximiser le revenu, permet d'observer pour chaque contrainte d'environnement l'utilité optimale.

## IV.2 QUELLE POLITIQUE D'ENVIRONNEMENT ?

L'analyse de ces trois politiques d'environnement par les modèles bio-économiques montre l'intérêt de fixer des normes de pollution plutôt que de taxer les engrais ou les nitrates rejetés. Si ces résultats ne sont pas surprenants, les modèles ont l'avantage de tenter de quantifier les écarts<sup>8</sup> et d'aborder les stratégies d'adaptation des pollueurs.

Mais cet exercice est une simulation, et en tant que telle a d'abord une dimension exploratoire et a nécessité un effort important d'exhaustivité des données. Dans la réalité, obtenir un tel degré de précision demeure incompatible avec les objectifs de généralisation et le temps disponible. Dans ces conditions, la taxe à l'engrais apparaît comme la mesure la plus facile à mettre en oeuvre.

Dans le cas de la norme de pollution, on bute sur l'appréhension des flux de matières polluantes, et notamment des nitrates qui migrent vers les nappes phréatiques. Dans l'industrie, où ces données sont plus facilement disponibles, les normes sont largement répandues.

Les agronomes travaillent à spécifier les relations entre les conditions pédo-climatiques, la production agricole et la pollution. Un logiciel comme E.P.I.C. en est l'illustration. Une bonne connaissance de ces relations à l'échelle régionale devrait permettre d'établir une sorte d'échelle des risques de pollution par type d'activité. Ce qui pourrait alors servir de référence à la fixation d'une norme.

Mais fixer un seuil de pollution, c'est aussi se donner les moyens de contrôler que le pollueur le respecte. Ici le problème reste entier, tant il apparaît irréaliste de pratiquer les mesures de contrôle des nitrates migrant vers les nappes à l'échelle d'une exploitation agricole. Faudrait-il alors plutôt juger le comportement de l'agriculteur, en référence, notamment, à un comportement optimal qui symboliserait le respect de la norme ? Mais comment définir ce ou ces comportements minimaux ? Comment évaluer et pénaliser les écarts ?

De plus, la réglementation directe des nitrates migrant vers les nappes, au moyen de normes d'émission maximales, introduit la notion de "risque environnemental" dans la mesure où les objectifs définis n'ont pas un caractère absolu. En d'autres termes, quel est l'écart par rapport à la norme définie qu'est prêt à accepter le législateur et quelle est l'influence de cet écart sur le revenu de l'exploitant (FEAGUE, BERNARDO, MAPP, 1995) ? Il s'agit donc de maximiser l'utilité de l'agriculteur en maintenant le "risque environnemental" sous un certain seuil.

Ainsi s'ajoute au risque économique, déjà pris en compte dans les modèles pour tenter de reproduire le comportement "spéculatif" de l'agriculteur dans ses choix de production, un risque dit d'environnement, extérieur à l'agriculteur, symbolisant le comportement du législateur qui doit fixer une norme de pollution.

De manière plus immédiate, les représentants de la profession privilégient aujourd'hui la fertilisation raisonnée par calcul du reliquat et le recours à des techniques culturales plus respectueuses de l'environnement. Les simulations par les modèles bio-économiques montrent que les techniques additionnelles devraient contribuer à préserver le milieu naturel. Mais là aussi, il reste un effort important de spécification des techniques à promouvoir en relation avec les conditions naturelles et l'activité et d'analyse de leur pertinence économique.

---

<sup>8</sup> A ce propos, insistons une nouvelle fois sur la prudence avec laquelle il faut considérer les valeurs chiffrées surtout au vu de la faiblesse des écarts.

Les simulations qui ont été réalisées dans cette recherche montrent différentes politiques pour lutter contre la dégradation des ressources en eau par l'agriculture. Les niveaux de résultats et les conséquences économiques à l'échelle d'une exploitation sont divers. Les tendances qui en découlent doivent être confirmées en multipliant les situations modélisées. Mais, quoi qu'il en soit, il reviendra toujours au législateur de définir les objectifs souhaitables et les mesures pour y parvenir. Ces simulations peuvent l'y aider, mais seulement comme un élément d'un problème qui présente bien d'autres acteurs et dimensions.

## CONCLUSION

---

Les modèles bio-économiques qui associent un modèle de croissance des plantes et une maquette mathématique d'optimisation apparaissent comme un outil adapté à l'évaluation socio-économique des politiques agricoles. Contrairement aux approches économétriques traditionnelles, ces modèles établissent la fonction de production sur la base des relations techniques réellement existantes entre inputs et output et non pas à partir d'une forme mathématique préétablie. Ici, l'exercice consiste à évaluer les impacts probables de différents scénarios de politique agricole à l'échelle d'exploitations suffisamment représentatives pour apporter des résultats significatifs.

Les modèles de simulation agronomiques consistent à reproduire les principaux phénomènes biologiques à l'origine de la croissance des espèces cultivées. Le modèle E.P.I.C., qui a été retenu ici, prend en compte les processus du sol, du climat, de la plante et des façons culturales pour modéliser la production végétale. Il propose donc une vision plus globale des systèmes agronomiques que les approches traditionnelles (modèles C.E.R.E.S.-Maize, C.E.R.E.S.-Wheat,...), qui considèrent bon nombre de ces facteurs de production comme exogènes. De plus, mis au point par l'équipe du Blacklands Research Station à Temple, Texas, son adaptation aux données françaises bénéficie des très importants travaux de l'I.N.R.A. de Toulouse (CALBEGUENNE, DYKE, 1989).

En reproduisant les données pédo-climatiques d'une région ainsi que les choix et le niveau techniques rencontrés sur une exploitation individuelle, E.P.I.C. calcule les rendements agronomiques et fournit donc à l'économiste les optima techniques, en termes de production, des combinaisons de facteurs de production. Par conséquent, ce modèle qui maximise les outputs, à partir d'une série d'intrants et sous diverses contraintes, modélise une vraie fonction de production.

L'évaluation des pertes de nitrates pour chacun des optima techniques calculés, permet de construire la fonction de dommages associée. Dès lors, il devient possible d'intégrer la préservation des nappes phréatiques comme une contrainte supplémentaire au processus de maximisation du revenu.

L'utilisation d'un tel outil bute, néanmoins, sur le nombre très important de paramètres nécessaires pour une représentation fine de la réalité. E.P.I.C. demeure un logiciel construit par des agronomes pour des agronomes. Le niveau de spécification des données apparaît quelquefois incompatible avec une recherche de type socio-économique.

Plus techniquement, la version utilisée, modélise mal les attaques pathogènes, aussi, l'influence des traitements phytosanitaires appliqués par l'agriculteur reste très limitée. Enfin, E.P.I.C. n'apprécie probablement pas suffisamment les effets des pratiques individuelles du producteur dans le calcul des résultats.

En ce qui concerne le calcul des pertes de nitrates, il est basé sur la modélisation du devenir des différents états chimiques de l'azote du sol. Mais la critique des valeurs obtenues reste difficile par absence de comparaison possible avec des mesures tirées de la réalité.

Les modèles de programmation linéaire sont usuels pour l'estimation des fonctions de production (BOUSSARD, DAUDIN, 1988). En général, ils s'appuient sur des techniques rigides du type Leontief. Pour éviter ce défaut, nous avons construit plusieurs techniques substituables en définissant un certain nombre d'activités dont les coefficients techniques sont obtenus par E.P.I.C. (BOUSSEMART et al, 1996).

L'hypothèse de base du modèle est que l'exploitant agricole maximise une utilité espérée, sous des contraintes physiques, financières, de risque et d'environnement. L'optimisation du revenu moyen a été calculée sur la base d'anticipations sur les prix, les primes et les rendements agricoles sur la période retenue. La maquette fonctionne sur le principe de la récursivité.

L'utilisation de cette méthodologie pour l'analyse des conséquences de la réforme de la P.A.C. à l'échelle d'exploitations de sept régions agricoles françaises, orientées vers la production de céréales et autres "grandes cultures", a montré que des mesures telles que le gel de 15 % des surfaces de céréales et d'oléo-protéagineux, l'alignement progressif des prix de vente sur les cours mondiaux, l'abandon de primes à la production au profit d'aides directes à la surface devraient favoriser la réduction des écarts de revenu entre les bassins de production et induire le recours à des techniques culturales plus respectueuses du milieu.

On a ainsi montré qu'en termes de revenu agricole, la réforme devrait être favorable aux régions de céréales-grandes cultures qui présentent actuellement les conditions de production les moins avantageuses (régions du Sud-Ouest, Barrois, Haut Pays d'Artois). Cette tendance devrait, si elle se confirme, permettre un rééquilibrage des résultats économiques entre les régions naturellement favorisées et les autres.

En termes de productions, l'application de la réforme devrait favoriser le recentrage de l'activité autour des cultures qui profitent d'une part de bonnes potentialités agronomiques au niveau de la région et dont les conditions de transaction restent compétitives dans un contexte de prix proches des cours mondiaux.

Ainsi les régions du Sud-Ouest auraient plutôt tendance à produire des oléagineux en accentuant le recours à l'irrigation et de restreindre leur production de céréales d'hiver, peu compétitive nationalement et internationalement dans les conditions nouvelles du marché. La Beauce et l'Artois qui présentent des terres parmi les meilleures de France et des conditions climatiques idéales pour la culture des céréales d'hiver, devraient en renforcer l'importance dans les emblavements. Cette évolution devrait donc renverser la tendance observée depuis 20 ans, à une diversification relative, notamment en Beauce.

Quant au Barrois et au Haut Pays d'Artois, l'équilibre entre les cultures de vente et l'élevage ne devrait pas être remis en cause par l'application de la réforme. L'avantage que celle-ci devrait donner aux céréales d'hiver par rapport aux oléagineux et protéagineux est sans doute à relier aux conditions naturelles, aux conditions de marché des productions destinées à l'alimentation animale, mais aussi au rapport temps passé sur espérance des gains, rapport important quand l'agriculteur doit aussi s'occuper d'un élevage. Les nouvelles conditions de production de viande devraient plutôt être bénéfiques pour l'exploitant et donc favoriser le maintien de cette activité dans les régions concernées. Enfin, les simulations réalisées dans le Pas-de-Calais ont montré l'intérêt des productions contingentées (betteraves, lait) qui limitent les effets de la réforme sur les performances économiques

Au niveau des techniques culturales, même si toutes les possibilités d'adaptation possibles n'ont pas été explorées (3 à 4 techniques à disposition de l'agriculteur), il semblerait que dans certains cas, le recours à des techniques moins intensives soit une réponse aux nouvelles règles de la P.A.C. Cette tendance a été vérifiée au niveau des régions les plus intensives : Beauce, Artois, Barrois et Haut-Pays d'Artois. Inversement dans le Sud-Ouest, la compétitivité des exploitations semble dépendre d'un certain degré d'intensification de la production (mais on assiste au choix d'une irrigation plus économe en eau).

Ces diverses adaptations à la réforme devraient, dans la majorité des régions étudiées, avoir un impact favorable sur le milieu naturel en diminuant globalement les quantités d'azote épandues et les pertes par percolation et ruissellement.

La lutte contre la dégradation des actifs naturels sera l'un des enjeux des prochaines politiques agricoles. La volonté est clairement affichée de promouvoir une agriculture respectueuse de l'environnement, s'inscrivant dans un développement durable de l'espace rural. Que produire, en quelle quantité, avec quelle technique, pour quelle performance économique et à quel coût écologique ? seront les questions autour desquelles s'orienteront les débats.

Répondre à de telles questions exige des outils d'évaluation capables de considérer la variable d'environnement comme une contrainte supplémentaire intervenant dans la stratégie économique du producteur. Ce qui exige d'abord d'associer aux actifs naturels une valeur économique, puis d'intégrer celle-ci dans les processus du marché. Il devient alors possible de définir et juger les actions à mener selon les priorités souhaitées.

Chez les néoclassiques, la valeur de l'environnement se définit fondamentalement selon le principe de l'économie du bien-être (PIGOU), comme la valeur attachée par les individus à l'existence de ces biens naturels. La notion de bien-être individuel demeure très imprécise et multidimensionnelle si bien qu'il est impossible d'en avoir une mesure directe. Les méthodes qui sont actuellement développées se basent donc sur la théorie des surplus, en mesurant le consentement des individus à payer pour bénéficier d'une amélioration de l'environnement<sup>5</sup> ou à recevoir pour renoncer à cette amélioration. Les techniques actuellement développées pour approcher ces valeurs, reposent principalement sur l'analyse des marchés de substitution ou sur l'interrogation directe (méthode des évaluations contingentes). Mais il est parfois difficile d'établir la relation de complémentarité entre les biens, comme il est quelquefois hardi de supposer que l'individu est lui-même capable de déterminer le prix qu'il accorde aux actifs naturels.

Face à ces approches, la modélisation bio-économique, qui associe fonction de production et fonction de dommages, peut très précisément évaluer le coût écologique de telle ou telle décision économique. Les outils actuellement disponibles, notamment E.P.I.C., établissent les relations entre la production végétale et les pertes d'azote<sup>6</sup>, si bien qu'il est possible de connaître l'impact sur l'environnement (pollution par les nitrates) du choix productif optimal déterminé par le modèle mathématique. On dispose ainsi directement du coût de désutilité de pollution correspondant à l'utilité économique du producteur. En d'autres termes, la valeur d'un environnement moins pollué par les nitrates d'origine agricole est directement obtenue par la diminution de revenu qui permet cette amélioration.

---

<sup>5</sup>Dans le sens où l'environnement naturel est source de bien-être pour l'individu.

<sup>6</sup>Mais aussi l'érosion

Dans l'analyse de la réforme de la P.A.C., la variable environnement, en l'occurrence les pertes d'azote, a seulement été considérée comme un paramètre supplémentaire d'analyse, les choix des acteurs n'étant pas influencés par des objectifs de protection de l'environnement. Ce "comptage de tendance" (DEYBE, 1995) a permis d'observer l'impact écologique des mesures de la réforme.

La variable d'environnement peut devenir une contrainte à part entière qui s'impose aux producteurs. Dans le domaine de la lutte contre les nitrates, on distingue plusieurs outils de réglementation établi sur le principe du "pollueur-payeur"<sup>7</sup>. Parmi les méthodes indirectes, on parle souvent de la taxation des engrais azotés comme un moyen d'inciter les agriculteurs à éviter les gaspillages en adaptant les apports d'azote au plus près<sup>8</sup> des besoins de la plante. Parmi les méthodes directes, la redevance de pollution, c'est à dire le paiement de pénalités par unité de pollution déversée, ou la norme de pollution, c'est à dire la fixation d'un seuil maximal de pollution autorisée sont celles qui pourraient être les plus intéressantes.

On a ainsi simulé ces trois politiques à l'échelle de l'exploitation du Haut Pays d'Artois de référence. La modélisation bio-économique s'est avérée particulièrement adaptée pour constater comment la réduction des apports d'engrais azotés pouvait induire une diminution des pertes de nitrates, mais aussi pour imposer financièrement le lessivage ou le contraindre dans des limites fixées. On a pu ainsi analyser les répercussions socio-économiques de ces scénarios et en mesurer l'efficacité relative.

Les résultats obtenus montrent que la norme de pollution permettrait de réduire les pertes d'azote à un coût moindre, en termes de baisse de revenu agricole, que la taxation des engrais et la redevance de pollution. Dans tous les cas, les emblavements ne seraient pas affectés par ces mesures environnementales, l'adaptation à la contrainte se situant essentiellement au niveau des techniques culturales. On remarque également que l'application conjointe de la réforme de la P.A.C. permet, pour toutes les méthodes, d'atteindre des niveaux d'efficacité supérieurs à moindre coût.

Mais attention, bien que ces résultats apparaissent réalistes, il ne s'agit ici que d'un exercice exploratoire à portée limitée, sur la base de la modélisation d'une situation particulière non générale. De plus, la comparaison entre les méthodes n'est établie que pour une année de référence. Il conviendrait de poursuivre l'analyse pour d'autres exploitations et d'autres scénarios économiques.

Cependant, ces applications montrent comment les modèles bio-économiques peuvent d'abord s'inscrire comme des outils d'évaluation économiques des techniques de production. Dans le contexte actuel d'une plus grande attention portée à la sauvegarde des ressources naturelles, il apparaît intéressant de disposer d'un tel outil pour proposer et développer des techniques alternatives "raisonnablement extensives" et économiquement viables.

Ces résultats montrent aussi que l'on dispose, avec la modélisation bio-économique, d'un outil opérationnel d'évaluation microéconomique des politiques agricoles et d'environnement. Outil de simulation, ces modèles permettent de tester dans un temps très court, un nombre important

---

<sup>7</sup>Le marché ne pouvant seul suffire à intégrer la variable d'environnement dans les échanges, l'intervention des pouvoirs publics est nécessaire pour que le coût social correspondant à la dégradation du milieu soit pris en charge par les acteurs.

<sup>8</sup>Avec une marge de sécurité raisonnable.

de situations économiques et techniques et d'imaginer des hypothèses variées quant à l'évolution des règles d'échange sur le marché agricole.

De plus, de tels modèles présentent le grand avantage de relier à la fois les objectifs de performance économique et les problèmes de sauvegarde des ressources naturelles. Dès lors, il devient possible d'évaluer le coût pour l'agent économique, de la lutte contre les pertes de nitrates à l'échelle de l'exploitation agricole et de comparer l'efficacité respective de différentes mesures.

Cependant, les modèles actuels ne traitent que du problème des nitrates, alors que l'activité agricole engendre à la fois, d'autres externalités négatives liées à l'utilisation des pesticides, herbicides et autres fongicides, mais aussi liées à l'utilisation massive d'effluents animaux, à l'arrachage des haies, à l'érosion des sols, etc., mais aussi, des externalités positives en termes de paysage et de vitalité de l'espace rural. Comment évaluer ces impacts non économiques ? Ils apparaissent aujourd'hui, plus ou moins difficiles à modéliser. Ne pourrait-on pas, en l'occurrence, associer l'approche bio-économique à la méthode des évaluations contingentes ?

De plus, les réponses apportées par l'outil bio-économique, sont de type micro-économique. L'évaluation des politiques d'environnement à mettre en place est intéressante à l'échelle d'une exploitation, notamment en termes de revenu et de comportement technique. Cependant, les conséquences macro-économiques de la généralisation de ces changements ne sont pas pris en compte et le modèle radicalise probablement trop les évolutions. Dans ces conditions, la fiabilité des prévisions est essentiellement de l'ordre du court terme.

Pour améliorer les performances du modèle en ce domaine, il serait intéressant d'introduire une distinction entre les prix espérés en début de campagne par l'agriculteur et les prix réellement touchés, issus du marché de l'offre et de la demande. Dans la simulation, on devrait pouvoir intervenir en début d'année pour corriger le système de prix avant de faire tourner le modèle.

Dans le cadre de la lutte contre les nitrates, on peut estimer que la généralisation du recours à des techniques moins polluantes, devrait globalement améliorer la qualité chimiques des nappes phréatiques de l'ensemble d'une région. Cependant, tant que des modèles ne seront pas construits à l'échelle d'un bassin versant, par exemple, il sera difficile d'estimer réellement la pollution issue de l'activité agricole et les mesures à mettre en place pour sauvegarder les ressources en eau.

L'évaluation des politiques pose aussi la question de l'intervention des pouvoirs publics et du coût de celle-ci. Les modèles bio-économiques ne peuvent qu'appréhender le coût économique pour l'exploitant de telle ou telle mesure, sans référence aux coûts de subvention, de transaction, d'administration, de contrôle, etc. Ainsi, l'application d'une taxe à l'engrais sera d'autant plus favorisée qu'elle est d'une mise en oeuvre simple et peu coûteuse pour la communauté par rapport à la norme de pollution qui exige des mesures de contrôle et de rétorsion.

Mais le problème le plus délicat à résoudre reste de déterminer la responsabilité réelle du pollueur pour calculer sa contribution financière à la lutte pour la préservation du milieu. La pollution par les nitrates est bien liée aux quantités d'engrais azoté épandues, mais les conditions naturelles, les productions ensemencées et les façons culturales sont aussi des facteurs déterminants dans les volumes lessivés.

Les outils de simulations tels qu'E.P.I.C. peuvent aider à évaluer l'ordre de grandeur de cette responsabilité et de déterminer dans quelle mesure les comportements peuvent influencer sur les niveaux de nitrates emmenés vers les nappes. Cependant, il reste à définir la répartition du coût de la pollution : Est-il réellement envisageable d'analyser les agissements de chaque agriculteur et d'imposer financièrement les "mauvais comportements" à hauteur de leur participation à l'augmentation des teneurs en nitrates de la nappe phréatique ?

Les modèles bio-économiques devraient plutôt intervenir pour simuler différents outils de réglementation réalistes afin d'en évaluer, en partie, l'efficacité économique et écologique, ces mesures étant d'abord définies comme le moyen le plus juste de contribuer financièrement, mais aussi en changeant ses méthodes de production, à la dépollution.

Le débat qui secoue actuellement les experts de la Commission Européenne sur l'intérêt ou non d'abandonner les traditionnelles politiques agricoles de réglementation de l'offre au profit de politiques explicites de l'environnement et de l'espace rural, montre combien l'évaluation des externalités liées à l'agriculture devient centrale. La sauvegarde des ressources naturelles et du cadre de vie apparaît comme une priorité, tant on considère aujourd'hui que leur dégradation menace directement l'avenir du genre humain. L'objectif avoué est de tendre vers un développement durable de l'activité humaine, qui ne renie pas le progrès technique et l'élévation du niveau de vie, mais qui permette que les générations à venir puissent vivre dans un environnement au moins aussi préservé que le nôtre.

Les modèles bio-économiques comme outil d'aide à la décision peuvent participer à la définition des actions à promouvoir dans ce cadre. Notamment, ils apparaissent assez opérationnels pour évaluer la pertinence économique et le pouvoir polluant des techniques culturales. En cela, ils devraient aider à définir régionalement, les itinéraires techniques les plus favorables.

En tant qu'outil de prévision, les modèles bio-économiques sont trop restrictifs pour donner une vision complète des conséquences possibles d'une politique agro-environnementale donnée. En revanche, ils peuvent participer efficacement à l'analyse micro-économique de ces conséquences et analyser les impacts probables à l'échelle de l'exploitation agricole d'une politique de développement durable.

## BIBLIOGRAPHIE

---

**A.D.A.S.E.A.** (1992) : "Devenir de l'espace agricole et rural de la Haute-Marne. Perspectives d'évolutions d'ici l'an 2002". 17.

Agence de l'eau Artois Picardie (1990). "Azote et Agriculture de A à Z". Douai. 39.

Agence de l'eau Artois Picardie (1990b). "Eau 2000. L'eau en 1990. Lutte contre la pollution des eaux dans le bassin Artois-Picardie. Etat des lieux". Douai.

**AIGNER D.J., CHU S.F.** (1968) : "On estimating the Industry Production Function". *The American Economic Review*, 58, n°4. 826-839.

**AIGNER D.J., LOVELL C.A.K., SCHMIDT P.J.** (1977) : "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models". *Journal of Econometrics*, 6, n° 1. 21-37.

### ANALYSES DE GROUPE

Résultats définitifs 1991, région Artois. UGCA Conseil. Arras. janvier 1993. 35.

Résultats définitifs 1992, région Artois. UGCA Conseil. Arras. janvier 1994. 27.

Résultats définitifs 1993, région Artois. UGCA Conseil. Arras. janvier 1995. 27.

Résultats définitifs 1991, région Haut Pays-Boulonnais. UGCA Conseil. Arras. janvier 1993. 32.

Résultats définitifs 1992, région Haut Pays-Boulonnais. UGCA Conseil. Arras. janvier 1994. 40.

Résultats définitifs 1993, région Haut Pays-Boulonnais. UGCA Conseil. Arras. janvier 1995. 40.

Analyse de groupe départementale, Récolte 1992 Pas-de-Calais. UGCA Conseil. Arras. mars 1994. 57.

**ANDERSON R, FROHBERG et al.** (1994) : "EC agriculture policy for the 21th century". *European Economy*, (4). 1-147.

**ANONYME** (1991a) : "Produire du lait et des boeufs dans l'Est: 6 savoir-faire mis au point chez des éleveurs de la région". Réseau Eleveurs de Bovins Demain. ITEB, Chambre d'Agriculture de Haute-Marne, EDE, SUAD de l'Est.

**ANONYME** (1991b) : "12 systèmes laitiers qui se sont adaptés aux contraintes économiques". Réseau Eleveurs de Bovins Demain. Chambres d'Agriculture 02.60.80.59, EBD, ANDA, GIE, ONILAIT. Avril.

**ANONYME** (1992a) : "PAC : quel avenir ?". *Paysans et progrès*, 01. 28.

**ANONYME** (1992b) : "Réforme de la PAC, accord à Bruxelles". *Bulletin d'Information du Ministère de l'Agriculture et de la Forêt*, n° 1 387, 27 mai. 4-6 .

**ANONYME** (1992c) : "A l'assemblée nationale : le débat sur l'agriculture. La réforme de la PAC, une chance pour l'agriculture". *Bulletin d'Information du Ministère de l'Agriculture et de la Forêt*, n° 1 391, 2 juillet. 3-15.

**ANONYME** (1992d) : "La nouvelle politique agricole commune : chronique d'une réforme", *L'information agricole*, n°648, sept. 17-30.

**ANONYME** (1992e) : "PAC : mode d'emploi". *Cultivar*, n°326, 1-15 oct. 25-56.

**ANONYME** (1992f) : "Réforme de la PAC : pour y voir plus clair" : Chambre d'Agriculture de Haute-Marne. Supplément au numéro 1 165 de *L'Avenir agricole e rural de la Haute-Marne*, 12 novembre. 22.

**ANONYME** (1992g) : "La réforme de la politique agricole commune : impératif communautaire et défi pour les pays de l'AELE", *Problèmes économiques*, n°2-300, 18 novembre. 9-11.

**ANONYME** (1992h) : "Produire de la viande avec des charolaises dans l'Est, Actualisation économique 1991 et 1992". Réseau Eleveurs de Bovins Demain Est, Chambre d'Agriculture de Haute-Marne. Juin.

**ANONYME** (1993a) : "La PAC maîtrisable. Analyse sur 14 systèmes lait et mixte + viande avec + ou -de cultures de vente". Eleveurs de Bovins, Demain, Chambres d'Agricultures 02.60.80.59.62, Institut de l'Elevage, ANDA, GIE, ONILAIT.

**ANONYME** (1993b) : "Dossier P.A.C.". *Syndicat Agricole*, 10 décembre 1993.

**ANONYME** (1994) : "Des Repères pour nos Elevages. Produire du lait, oui, mais pour en vivre." Chambre d'agriculture du Pas de Calais, fdgeda, E.B.D., Le Contrôle Laitier. Saint-Pol-sur-Ternoise, 28 juin. 56.

**APCA** (1991a) "L'agriculture et la politique communautaire de l'environnement" in "Agriculture et Environnement. Approche communautaire et expériences étrangères". Chambres d'Agriculture, supplément au n°785, Jan 1991. 39-54.

**APCA** (1991b) "Agriculture et Environnement. Relations et actions des chambres d'agriculture". Chambres d'Agriculture, supplément au n° 787, Mars 1991. 39.

**ANTOINE L., BEGUIN E., CAUSSIN P., LAVEFVE J.** (1993) : "Analyse de groupe : résultats technico-économiques 1992 bovin viande - Ateliers spécialisés". Promoviande 52, Chambre d'Agriculture de Haute-Marne. Septembre. 60.

**APVA** (1993) : "Raisonnement technico-économique". APVA, Chambre d'Agriculture de Haute-Marne.

**BANKER R.D.** (1984) : "Estimating most productive scale size using Data Envelopment Analysis". *European Journal of Operational Research*, n°17. 35-44.

**BARDE JP** (1992) : "Economie et politique de l'environnement". PUF. Paris.

"Barème indicatif d'entraide 92 d'Eure-et-Loir". Service Machinisme de la Chambre d'Agriculture 28, 1992. 4.

**BAUMOL W.J., OATES W.E.** (1971) : "The use of standards and prices for protection of the environment". *Swedish Journal of Economics*, 31, 1. 42-54.

**BEGUIN E.** (1993) "Résultats réseau Eleveurs de Bovins Demain Viande de Haute-Marne, campagne 1992. Promoviande 52, Chambre d'Agriculture de Haute-Marne. Décembre. 37

**BEGUIN E., ANTOINE L., CAUSSIN P., LAVEFVE J.** (1994) : "Synthèse appui technique ateliers allaitants viande de Haute-Marne". Réseau Eleveurs de Bovins Demain, campagne 1993. Promoviande 52, Chambre d'Agriculture de Haute-Marne. 73.

**BEGUIN E., CAUSSIN P., LAVEFVE J.** (1992) : "Analyse de groupe : résultats technico-économiques 1991 bovin viande - Ateliers spécialisés". Promoviande 52, Chambre d'Agriculture de Haute-Marne. Juillet. 59.

**BILLARD G., BOUSSEMART JPh.** (1984) : "Production, capital, endettement et revenu disponible des exploitations agricoles du Pas-de-Calais". C.R.E.A. Lille. 310

**BLASKOVIC H.** (1992) : "Une analyse du système de production agricole socialisé dans la région continentale de la Croatie et les possibilités de réorganisation. Tentative d'utilisation des modèles". Master of Science du CIHEAM-IAMM, 17. Montpellier. 129.

**BLASKOVIC H., GUTMAN G., JACQUET F** (1993) : "Les exploitations céréales-grandes cultures de la région de Toulouse. Le Lauragais, les Côteaux du Gers et les Vallées et Terrasses de Haute-Garonne. Etude Diagnostic. PROJET POLEN. CIHEAM Montpellier. sept.

**BONIEUX F., RAINELLI P., VERMERSCH D.** (1994) : "A policy scheme to reduce nitrate pollution. The case of livestock rearing". The European Association of Environmental and Resource Economists. Fifth Annual Conference, Dublin, June 22-24 1994. 17.

**BONIEUX F., RAINELLI P., VERMERSCH D.** (1995) : "The provisionnal of environmental goods by agriculture". The European Association of Environmental and Resource Economists. Sixth Annual Conference, UMEA, June 18-20 1995. 15.

**BOUSSARD J.M.** (1996) : "Faut-il encore avoir des politiques agricoles ?", Document de travail.

**BOUSSARD J.M.** (1987) : "Economie de l'agriculture". *Economica*. Paris. 310.

**BOUSSARD J.M., BOURLIAUD J.** (1974) : "Possible consequence of agricultural policies for the district of Sehdiou (Central Casamance, Republic of Senegal), an application of linear programming model". Institut National de la Recherche Agronomique. Paris. 121.

**BOUSSARD JM, BOUSSEMART J-Ph, FLICHMAN G, JACQUET F, LEFER H-B** (1994) : "Analyse des impacts socio-économiques de différentes politiques agricoles dans certaines régions françaises. Compétitivité et protection de l'environnement". Programme Agriculture Demain (n°92G0364). Rapport intermédiaire. Février. 121.

**BOUSSARD J.M., BOUSSEMART J-Ph., FLICHMAN G., JACQUET F., LEFEBVRE A, LEFER HB.** (1995) : "Programme Agriculture Demain, Analyse des impacts socio-économiques de différentes politiques agricoles dans certaines régions françaises - Compétitivité et Protection de l'Environnement". Rapport final. Mai 1995. 157 + annexes.

**BOUSSARD J.M., DAUDIN J.J.** (1988) : "La programmation linéaire dans les modèles de production". Masson-INRA. Paris. 127.

**BOUSSARD J.M., JACQUET F., FLICHMAN G.** (1987) : Projet "Les comparaisons internationales d'efficacité en agriculture". Convention d'étude CIHEAM-Ministère de l'Agriculture-CNRS-Commissariat Général au Plan-INRA.

**BOUSSEMART J-Ph.** (1988) : "Production, Capital, Endettement et Productivité de l'Agriculture française". Thèse de doctorat en Sciences Economiques. Université de Paris I, Panthéon-Sorbonne. 340.

**BOUSSEMART J-Ph., DAVAUT N., PLETZER E., MASSON P.** (1994) : Documents de travail. LABORES. Lille.

**BOUSSEMART J-Ph., DERVAUX B.** (1991) : "Diagnostic d'efficacité productive par la méthode Data Envelopment Analysis," in "Maîtrise de l'énergie et efficacité globale". Recherche du CREA pour l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie. Octobre. 1-30.

**BOUSSEMART J-Ph., FLICHMAN G., JACQUET F., LEFER HB.** (1994) : "Compétitivité des exploitations agricoles et protection de l'environnement. L'évaluation micro-économique de la réforme de la PAC par un modèle bio-économique : une illustration sur la Beauce et la région de Toulouse". Communication aux 4èmes journées du S.E.S.A.M.E., IAE - Lyon, 8-9 septembre 1994.

**BOUSSEMART J-Ph., FLICHMAN G., JACQUET F., LEFER HB.** (1996) : Prévoir les effets de la réforme de la Politique Agricole Commune sur deux régions françaises : application d'un modèle bio-économique. *Canadian Journal of Agricultural Economics*. A paraître.

**CABELGUENNE M., CHARPENTEAU J.L., JONES C.A., MARTY J.R., RELIER J.P.** (1986) : "Conduite des systèmes de grande culture en prévision des rendements : tentative de modélisation". Compte-rendu de l'Académie d'Agriculture Française, 72. 125-132.

**CABELGUENNE M., DEBAEKE.P.** (1993) : "Analyse des impacts socio-économiques de différentes politiques agricoles dans certaines régions françaises. Compétitivité et protection de l'environnement". Rapport de la partie agronomique du contrat associatif CEE N°4706 A. Août. 40.

**CABELGUENNE M., DYKE P.T.** (1989) : "Simulation of French cropping systems with EPIC". American Society of Agronomy. Las Vegas.

**CABELGUENNE M., JONES C.A., MARTY J.R., QUINONES H.** (1989) : "Using the EPIC model for the study of cropping systems-Comparison of measured and simulated data of 5 crops managed at different input levels". *Agricoltura Mediterranea*, vol 120.

**CABELGUENNE M., JONES C.A., MARTY J.R. DYKE P.T., WILLIAMS J.R.** (1990) : "Calibration and Validation of EPIC for Crop Rotations in Southern France". *Agricultural Systems*, 33, 153-171.

**CALLOT G., CHALMAYOU.H, MAERTENS C., SALSAC L.** (1982). "Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale". I.N.R.A. Paris. 325.

**CAVALLO D., MUNDLAK Y.** (1982) : "Agriculture and Economic Growth in an open economy : the case of Argentina". Research Report n°36, International Food Policy Research Institute. Washington D.C. 162.

CGN (1989) : "150 fiches technico-économiques". CGN, Institut Agricole de Genech, Chambre d'Agriculture du Nord.

**CHAMBOLLE T.** (1990) : "Les normes européennes de la qualité de l'eau". in *Le grand livre de l'eau. La Manufacture et la Cité des Sciences et de l'Industrie*. Paris. 410.

**CHAPOT J.Y., DELPHIN J.E., SCHENCK C.** (1990). "Pollution des eaux par les nitrates et pratiques culturales" in "Agriculture et Environnement. Le point de vue es partenaires de l'agriculture". Chambres d'Agriculture, supplément au n°784. Déc 1990. 28-30.

**CHARNES A., COOPER W.W., RHODES E.** (1978) : "Measuring the efficiency of decision making units". *European Journal of Operational Research*, n°2. 429-444.

**CHENERY H.B.** (1949) : "Engineering Production Function". *Quarterly Journal of Economics*, 63. 507-531.

Commission des Communautés Européennes (1991) : "Évolution et avenir de la PAC". Bruxelles 1 fév 91, N° catalogue CB-CO-91-044-FR-C, ISBN 92-77-69229-4. 19.

Comptes de l'agriculture française (1995). INSEE. Paris.

**CONTAT F, PLET P** (1988) : "Les terres à cailloux des plateaux calcaires du Barrois et de Bourgogne" Imp du petit Cloître. Langres.

CREA (1985) : "L'avenir de l'agriculture du Nord". Lille. 202.

**DAVAULT N.** (1993) : "Réforme de la Politique Agricole Commune et comportement des producteurs français dans le domaine des cultures céréalières. Evaluation des gains potentiels des rendements céréalières par l'estimation des frontières de production non paramétriques". Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Economie Industrielle et Ressources Humaines. Université de LILLE I. 107.

**DAY R.H.** (1961) : "Recursive programming and supply prediction" in "Agricultural supply functions : Estimating technics and interpretation". Ed Heady, Baker and al. United States University Press. 108-125.

DDAF du Loiret (1987) : "Enquête terres labourables 1987 : Blé tendre, Maïs grain, Tournesol". Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Loiret, Service Statistique Agricole. 15.

**DESAIGUES B., POINT P.** (1993) : "Economie du patrimoine naturel". *Economica*. Paris. 317.

**DEYBE D.** (1995). "Politiques pour une agriculture durable. Essai sur la destion de ressources naturelles renouvelables". Thèse de doctorat en Sciences Economiques. Université de Paris I Panthéon Sorbonne. 264.

**DEYBE D., FLICHMAN G., VICIEN C.** (1990) : "Is extensive production possible ?" in Brossier J. (ed) *Agriculture Methods and socio-economic criteria for the analysis and the prevision of land use and land evaluation*. Office for official Publications of the European Communities Luxembourg. 49-61.

**DEYBE D., FLICHMAN G.** (1991) : "A Regional Agricultural Model Using a Plant Growth Simulation Program as Activities Generator". *Agricultural Systems*,12.

**DUBGAARD A.** (1991). "Pollution par les nitrates et les pesticides,. Nécessité d'une politique européenne". *L'économie et le social dans le Marché Commun*. 859-865.

"Enquête terres labourables 1988 : Blé tendre, Maïs grain, Tournesol". Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Loiret, Service Statistique Agricole. 15.

"Enquête terres labourables 1989 : Blé tendre, Maïs grain, Tournesol". Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Loiret, Service Statistique Agricole. 15

"Enquête régionale 1994 grandes cultures, analyse technique et économique des résultats céréales, pois, colza". *Chambres d'agriculture 59.62*, AGERN, UGCA, CGN. Lille. 11.

"Enquête régionale 1992 grandes cultures, analyse technico-économique des résultats céréales, pois, colza". *Chambres d'agriculture 59.62*, AGERN, AFA, CGER, UGCA, CGN. Lille. 16.

"Enquête régionale 1991 grandes cultures, analyse technico-économique des résultats céréales, pois, colza". *Chambres d'agriculture 59.62*, AGERN, AFA, CGER, UGCA, CGN. Lille. 16.

"Enquête régionale 1990 grandes cultures, analyse technico-économique des résultats céréales, pois, colza". *Chambres d'agriculture 59*, AGERN, CGN. Lille. 16.

**FARRELL M.J.** (1957) : "The measurement of productive efficiency". *Journal of Royal Statistical Society*, vol 120, A. 253-290.

**FARRELL M.J., FIELDHOUSE M.** (1962) : "Estimating Efficient Functions under Increasing Returns to Scale". *Journal of Royal Statistical Society*, vol 125, A, part II. 252-267.

**FAUDRY D.** (1974) : "Difficultés d'estimation de la fonction de production micro-économique en agriculture". *Economies et Sociétés*, vol 8, n° 5. 701-743.

**FLATRES P.**(1980) : "Atlas et géographie du Nord et de la Picardie". Flammarion et éditions Famot, Genève. 430.

**FLICHMAN G.** (1989) : "Les comparaisons internationales d'efficacité en agriculture. Indicateurs dérivés des modèles agronomiques". Rapport Final de la Convention d'étude CIHEAM-MINISTRE DE L'AGRICULTURE-CNRS -COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN-INRA. Novembre. 53.

**FLICHMAN G, JACQUET F, BLASKOVIC H** (1993) . Economic and environmental impacts of Common Agricultural Policy reform: grain production in South West France. Poster papier présenté au VII ème congrès de l'AEAA. Stresa. September. 8.

FNSEA (1992) "La Nouvelle PAC". *L'information Agricole*, n°648. Septembre 1992. 46.

**FOLTETE JM., JACQUOT A., LEBORGNE C., WENCEL MC.** (1993) : "Etude sur quelques exploitations céréalières spécialisées de l'impact sur les coûts explicites et implicites d'une même réduction quantitative de production au moyen de l'alternative suivante : gel d'une partie de la surface (sans modification des rendements, réduction des rendements (sans gel des surfaces)". ENESAD, UFITA 2° séquence. 31.

**FORD RUNGE** (1994) : "Les effets environnementaux des échanges dans le secteur agricole" in "Les effets environnementaux des échanges". OCDE. Paris. 21-64.

**FOY D., LECOT P.** (1994) : "Modélisation d'exploitation mixte polyculture-élevage du Barrois Haut-marnais". Mémoire de stage 3° année. ENESA Dijon, IAM Montpellier.

**FRANCART J.Y.** (1991) : "Mise en place d'une redevance pour pollutions agricoles : simulations". Mémoire de fin d'études. ISA. Lille. 77.

**GREENE W.H.** (1980) : "Maximum Likelihood Estimation of Econometric Frontier Functions". *Journal of Econometrics*, 13, n°1. 27-56.

**GUTMAN G.** (1992) : "Implications of the reform of the common agricultural policy : the direct structural subsidies to farmers "(preliminary study). Paris. 57.

**GUYOMARD H. et MAHE L.P.** (1991) : "La réforme de la politique agricole commune : une révolution ou un grand pas dans la bonne direction ?". Document de travail n° 91-05. Décembre.

**HAZELL P.B.R., NORTON R.D.** (1986) : "Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture". Macmillan Publishing Company. 400.

**HICKS** (1939) : "Value and Capital". Clarendon Press. Oxford.

**HILDENBRAND W.** : "Short-Run Production Functions based on Microdata". *Econometrica*, vol 49, n°5. 1095-1125.

**HOTELLING** (1931) : "The Economics of Exhaustible Resources". *J. Pol. Eco.*, 39. 137-175.

Index phytosanitaire 1993. ACTA, ISSN 0292-9031. Paris. 1992. 529.

**JACQUET F.** (1993) : "La réforme de 1992, un tournant dans l'histoire de la Politique Agricole Commune". DEMETER. Armand Colin. 15-73.

**JACQUET F., FLICHMAN G.** (1988) : "Intensification et efficacité en agriculture". *Economie Rurale*. Paris. Janvier-Février.

**JACQUIN F, FLORENTIN L** (1988) : " Atlas des sols de Lorraine" Presse Universitaire de Nancy.

**JONES A.** (1988) : TAS NOTES. Texas Agricultural Experiment Station. Temple. 1-6.

**JONES C., KINIRY J.** (1986) : "C.E.R.E.S.-Maize". College Station : Texas A & M University Press. 254.

**JOSLING T.** (1994) : "The reformed PAC and the industrial world". *European Review of Agricultural Economics*, 21 (3-4). 513-527.

**JUST R.E., POPE R.D.** (1979) : "Production Function Estimation and Related Risk Considerations". *American Journal of Agricultural Economics*, vol 61. 276-284.

**KING G.A., WOHLGENANT M.K., WEAVER R.D., CHALFANT J.A., POPE R.D.** (1984) : "Estimating Functional Forms with Special References to Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, vol 66, n°2. 221-224.

**KROLL J.C.** (1987) : "Politique agricole et relations internationales- les enjeux en France et dans la CEE". *Alternatives économiques*. 237.

**LEFER H.B., BLASKOVIK H.** (1994) : "Les modèles de simulation technico-économiques comme méthode d'analyse des impacts de différentes politiques agricoles" *Economie Rurale*. Nov-déc. 45-50.

**LES CAHIERS FRANCAIS** (1991) : "Le commerce international". *La documentation française*, n°253. 121.

**LEVHARI D., SHESHINSKI E.** (1970) : "A Microeconomic Production Function". *Econometrica*, vol 38, n°3. 559-573.

**L'HIRONDEL J., L'HIRONDEL J.L.** (1996) : "Les nitrates et l'homme : le mythe de leur toxicité". Les Editions de l'Institut de l'Environnement. Liffré.

**LOWENBERG-De BOER J., CHENERY J.H.** (1987) : "Biophysical Simulation for Evaluating New Crops : The Case of Switchgrass for Biomass Energy Feedstock". Agricultural Experiment Station. Purdue University. West Lafayette. 18.

**MAC SHARRY R.** (1991) "Evolution et avenir de la politique agricole commune". Proposition de la Commission. Europe Verte, 41.

**MARTY J.R., HUTTER W., RELIER J.P.** (1981) : "Projet de programme de recherches expérimentales sur l'optimisation des intrants dans des rotations avec céréales et oléoprotéagineux avec ou sans irrigation". Optimisation des intrants dans un système de culture. Séminaire CEE, AGRIMED. Toulouse. Janvier. 119-131.

**MATHOT AG, VANHEE MR.** (1986) : "inventaire et diagnostic agronomique Artois". Mémoire de fin d'études. Institut Supérieur d'Agriculture. Lille. 100.

Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, University of London : Wye College, Institut National de la Recherche Agronomique de Toulouse, Universidade de Evora, Universidad Politécnica de Madrid : Escuela Superior de Ingenieros Agronomos, Università de Perugia : Istituto di Economia e Politica Agraria, Université Catholique de Lille : Centre de Recherches en Economie Agricole et Agro-alimentaire (1995) : "Analysis of the Socio-Economic Impacts of Agricultural Reform in certain European Regions : Competitiveness and Environmental Protection. Part I, Synthesis. Final report for EU contract n° 4706 A. European Union. Commission of European Communities. DG VI Agriculture. 71 + annexes

**MEYNARD J.M.** (1989) : "Conception d'itinéraires techniques : savoir s'adapter à des objectifs de production diversifiés.", Colloque : Ecophysiologie du blé, outil de maîtrise de la production. Versailles. 18.

**MEYNARD J.M., LIMAUX F.** (1989) : "Les rendements élevés et déjà rentable". 14.

Ministère de l'agriculture et de la forêt, Direction de la production et des échanges (1993) : "Mise en oeuvre de la réforme de la PAC". Note de service DPE/SPM/N° 92-4009. 5 août.

**MUGNIER D., ROCHE P.** "Enquête rendements 1993". CCER, service gestion, Chaumont. 41.

**MUNDLAK Y., HELLINGHAUSEN R.** (1982) : "The Intercountry Agricultural Production Function: Another View". *American Journal of Agricultural Economics*, vol 64. 664-672.

**NORTON R.D., SCHIEFER G.W** (1980) : "Agricultural Sector programming Models : a review". *European Review of Agricultural Economics*, vol 7. 229-264.

OCDE (1975). "Le principe pollueur-payeur. Définition, analyse, mise en oeuvre". 123.

OCDE (1976) "Les redevances de pollution. Essai de bilan". Rapport du secrétariat. 82.

OCDE (1989) "Politiques de l'agriculture et de l'environnement. Possibilités d'intégration". Paris. 221.

OCDE (1994) "Les effets environnementaux des échanges". Paris. 238.

OCDE (1994b) "Evaluation des projets et politiques : intégrer l'économie et l'environnement". Paris. 443.

OCDE (1995) "Production et produit moins polluants. Vers une mutation technologique en vue d'un développement durable". Paris. 111.

**PEARCE D.** (1976) : "The limits of Cost-Benefit Analysis as A Guide to Environmental Policy". *Kyklos*, 29, 1. 97-112.

**PIGOU A.C.** (1920) : "The Economics of welfare". Macmillan. Londres.

**PUTMAN J., DYKE P.** (1987) : "The Erosion Productivity Impact Calculator as formulated for the Resource Conservation Act Appraisal". U.S. Department of Agriculture, Natural Resource Economics Division. Economic Research Service. New York. 39.

**QUINONES H., CABELGUENNE M.** (1990) : "Use of EPIC to study cropping systems. II - Improved simulation of the water use, growth and harvest index in corn". *Agr. Med.*, vol 120. 241-248.

**RAUX J.** (1984) : "Politique agricole commune et construction communautaire". *Economica*. Paris. 485.

## **RECENSEMENT GENERAL DE L'AGRICULTURE (1988, 1979, 1970).**

### **Beauce**

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Yvelines". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 123.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Essonne". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 121.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Eure-et-Loir". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 99.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Loir-et-Cher". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 109.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Loiret". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 117.

### **Régions du Sud-Ouest**

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Haute-Garonne". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 110.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Ariège". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 114.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Gers. Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 94.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Haute-Pyrénées". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 104.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Tarn et Garonne". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 115.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Lot". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 108.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Aveyron". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 107.

### **Barrois**

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Haute-Marne". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 107.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Meuse". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 107.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Vosges". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 107.

### **Artois et Haut Pays d'Artois**

"Annuaire de statistique agricole 1993 Nord-Pas-de-Calais, résultats de 1991 et 1992". Service régional de statistique agricole Nord-Pas-de-Calais et Picardie. AGRESTE, Amiens. 1993. 124.

"Les comptes de l'agriculture française de 1992." Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. AGRESTE. Paris. 1993. 172.

aussi éditions de 1991, 1990 et 1989 et de 1988 jusqu'à 1982 ( coll. C de l'INSEE )

"Recensement Général Agricole en 1970, Pas-de-Calais, 1ère partie". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Imprimerie Nationale. Paris. 1972. 148.

"Recensement Général Agricole 1970-1971, Pas-de-Calais, fascicules départementaux". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Imprimerie Nationale. Paris. 1972. 354.

"Recensement Général Agricole 1979-1980, Pas-de-Calais, régions agricoles". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Imprimerie Nationale. Paris. 1982. 112.

"Recensement agricole 1988, SCEES-INSEE, Tableaux Prosper, cantons et régions agricoles, Pas-de-Calais". Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Paris. 1989. 208.

**RIDKER R., HENNING J.** (1967) : "The determinants of residential property values with special references to air pollution". *Review of Economics and Statistics*, 49. 246-257.

**ROBINSON J.** (1972) : "L'accumulation du capital". Dunod. Paris. 406.

**ROSEN S.** (1974) : "Hedonic prices and implicit markets : produce differentiation in pure competition". *Journal of Political Economy*, 82. 34-55.

**SEBILLOTE J.** (1990). "Agriculture et nitrates : la problématique" in "Agriculture et Environnement. Le point de vue es partenaires de l'agriculture". *Chambres d'Agriculture*, supplément au n°784. Déc 1990. 25-27.

**SCHMIDT P.** (1976) : "On the Statistical Estimation of Parametric Frountier Production Functions". *Review of Economics and Statistics*, 58, n°2. 238-239.

**STEVENSON R.E.** (1980) : "Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation. *Journal of Econometrics*, 13, n°1. 57-66.

**TAUER L.W.** (1983) : "Target MOTAD". *American Journal of Agricultural Economics*, 65. 606.

**TEAGUE M.L., BERNARDO D.J., MAPP H.P.** (1995). "Farm-level econommic analysis incorporating stochastic environmental risk assessment". *American Journal of Agricultural Econommics*, 77. Fev 95. 8-19.

**TEULON F.** (1991) : "La Politique Agricole Commune". Que sais-je. PUF. 122.

**THIOLLET P.** (1990). "Les engrais et l'environnement" in "Agriculture et Environnement. Le point de vue es partenaires de l'agriculture". *Chambres d'Agriculture*, supplément au n°784. Déc 1990. 34-36.

**THIRY B., TULKENS H.** (1988) : "Productivité, efficacité et progrès technique, notions et mesures dans l'analyse économique". In "L'efficacité économique", rapport préparatoire du huitième congrès des économistes belges de langue française, commission 5. 17 18 nov. 17-51.

**TOUTAIN J-C.** (1992) : "La production agricole de la France de 1810 à 1990 : départements et régions. *Economies et sociétés*. Grenoble. 1 082.

**TRICART J.** (1994) : "35 ème enquête betteraves du CETA de Bapaume". Fevrier

**TULKENS H., DEPRINS D., SIMAR L.** (1984) : "Measuring Labor Efficiency in Post Offices" in MARCHAND M., PESTIEAU P., TULKENS H. "The Performance of Public Enterprises : Concept and Measurement". North Holland. 243-267.

**VERMERSCH D.** (1992) : "Internalisation efficiente et "agriculture durable"". *Economie Rurale*, n° 208-209. 144-148.

**VERMERSCH D.** (1995) : Externalités et politique agricole commune : une relecture coasienne". Article issu de la communication du 26 janvier 1994 pour le Commissariat au Plan. 27.

**VERMERSCH D., BOUSSEMART J-Ph., DERVAUX B., PIOT I.** (1992): "Réforme de la PAC et comportements des producteurs : évolution des rendements céréaliers entre inefficacité technique et prix-efficacité. *Economie et Sociologie Rurales*. INRA. Rennes. Dec. 105.

**VICIEN C.** (1989) : "Les modèles de simulation comme outil pour la construction de fonctions de production : une application à la mesure de l'efficacité de la production agricole". Thèses et Masters. Instituts Agronomique Méditerranéen de Montpellier. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes. 133.

**VICIEN C.** (1991) : "Les modèles de simulation comme fonctions de production". *Economie Rurale*, n° 204. 46-50.

**VINER J.** (1931) : "Cost curves and supply curves" *Zeitschrift für national okonomie*.

**VIVIEN F.D.** (1994) : "Economie et Ecologie". La découverte. Paris. 121.

**WILLIAMS J.R., JONES C.A., DYKE P.T.** (1984) : "The EPIC model and its applications", in Proceedings of International Symposium on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru. 111 - 121.

**WILLIAMS J.R., JONES C.A., DYKE P.T.** (1989) : "The EPIC model". *United States Departement of Agriculture Technical Bulletin*.

**A.E.L.E. : Association Européenne de Libre-Echange**  
**C.A.P. : Consentement A Payer**  
**C.A.R. : Consentement A Recevoir**  
**C.E.E. : Communauté Economique Européenne**  
**C.E.R.E.S. : Crop Environment Resource Synthesis**  
**C.E.S. : Constant Elasticity of Substitution**  
**C.R.E.S.H. : Constant Ratios of Elasticity of Substitution Homogeneous or Homothetic**  
**C.O.P. : Céréales Oléo-Protéagineux**  
**D.J.A. : Dose Journalière Administrable**  
**D.R.A.F. : Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt.**  
**E.C.U. : European Count Unit**  
**E.P.I.C. : Erosion Productivity Impact Calculator**  
**F.E.O.G.A. : Fonds Européen d'Orientation et de Garantie Agricole**  
**E.V. : Equivalent Vache**  
**G.A.M.S. : General Algebraic Modeling System**  
**G.A.T.T. : General Agreement on Tarifs and Trade**  
**I.N.R.A. : Institut National de la Recherche Agronomique**  
**I.N.S.E.E : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques**  
**M.S. : Matière Sèche**  
**M.S.A. : Mutualité Sociale Agricole**  
**O.M.S. : Organisation Mondiale de la Santé**  
**O.T.E.X. : Orientation Technico-Economique d'eXploitation**  
**P.A.C. : Politique Agricole Commune**  
**P.E.D. : Pays En Développement**  
**P.I.B. : Produit Intérieur Brut**  
**P.N.B. : Produit national Brut**  
**P.V.D. : Pays en Voie de Développement**  
**Q.M.G. : Quantités Maximales Garanties**  
**R.G.A. : Recensement Général de l'Agriculture**  
**R.H.S. : Right Hand Side**  
**S.A.U. : Surface Agricole Utile**  
**S.C.O.P. : Surface en céréales, Oléo-Protéagineux**  
**S.M.G. : Surfaces Maximales Garanties**  
**S.T.H. : Surface Toujours en Herbe**  
**U.C. : Unité de compte**  
**U.G.B : Unité Gros Bovin**  
**U.G.C.A. : Union de Gestion et de Conseil en Agriculture**  
**U.T.A. : Unité de Travail Annuel**  
**U.T.H. : Unité de Travail Humain**

# TABLE DES MATIERES

---

RÉSUMÉ.....	1
INTRODUCTION.....	2
I AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT : LES ENJEUX ECONOMIQUES .....	5
SECTION I : AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT : HISTOIRE D'UNE RUPTURE.....	5
SECTION II : ENJEUX POLITIQUES DE L'ENVIRONNEMENT.....	10
II.1 Une prise de conscience.....	10
II.2 Priorité de la lutte contre les nitrates.....	11
II.2.1 L'azote support de l'agriculture productive .....	12
II.2.2 L'azote qui pollue .....	12
II.2.2.1 La toxicité humaine et animale des nitrates.....	13
II.2.2.2 Le phénomène d'eutrophisation .....	14
II.2.2.3 Les normes.....	14
II.2.3 Responsabilités et réponses de l'agriculture .....	14
II.2.3.1 La préservation des ressources en eau : un enjeu politique .....	15
II.2.3.2 Que penser de ces mesures ? Faut-il aller plus loin ?.....	16
SECTION III : LA VALEUR ECONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT : L'HERITAGE NEOCLASSIQUE.....	21
III.1 L'environnement : une ressource particulière.....	21
III.2 Effets externes : l'environnement réintégré dans le marché.....	22
III.3 La valeur économique de l'environnement.....	22
III.4 Les techniques d'évaluation de la valeur économique des actifs naturels .....	23
III.4.1 Les marchés de substitution.....	23
III.4.2 Les évaluations contingentes.....	24
III.4.3 Les fonctions de dommages doses-effets.....	25
II FONCTIONS DE PRODUCTION ET MESURE DE L'OFFRE AGRICOLE .....	28
SECTION I : LA FONCTION DE PRODUCTION EN ECONOMIE AGRICOLE.....	29
SECTION II : LES FORMES ANALYTIQUES ET L'INFERENCE STATISTIQUE.....	30
SECTION III : LES MODELES DE SIMULATION DE CROISSANCE DES PLANTES.....	32
III.1 Définition .....	33
III.2 Le modèle E.P.I.C.....	34
III.2.1 Présentation du modèle.....	34
III.2.2 Validation du modèle.....	36
III.3 E.P.I.C. comme fonction de production .....	37
SECTION IV : LA PROGRAMMATION LINEAIRE ET LA MODELISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES.....	38
IV.1 Un modèle de base.....	38
IV.2 Les hypothèses sous-jacentes.....	40
IV.3 La dualité et son interprétation économique.....	41
IV.4 La prise en compte du risque et des contraintes de liquidité.....	42

III LES MODELES BIO-ECONOMIQUES COMME OUTIL D'ANALYSE ECONOMIQUE : LES IMPACTS DE LA REFORME DE LA P.A.C. DANS LE HAUT PAYS D'ARTOIS .....	45
SECTION I : LA REFORME DE LA P.A.C. ....	45
I.1 Ce qui change en 1993 pour les grandes cultures .....	46
I.1.1 Les céréales .....	46
I.1.2 Les oléo-protéagineux .....	47
I.1.3 La jachère .....	48
I.2 Elevage : des primes en relation avec le chargement .....	49
I.2.1 Le calcul du chargement .....	49
I.2.2 Les primes européennes .....	50
I.2.3 La prime à l'herbe .....	51
I.3 Les impacts attendus de la réforme de la Politique Agricole Commune .....	52
SECTION II : MONOGRAPHIE DU HAUT PAYS D'ARTOIS .....	53
II.1 Les conditions naturelles .....	53
II.1.1 Les conditions pédo-climatiques .....	53
II.1.2 Les réserves en eau .....	54
II.2 Les exploitations du haut pays d'Artois .....	56
II.2.1 Les effectifs et les surfaces exploitées .....	56
II.2.2 La main-d'oeuvre .....	57
II.2.3 L'équipement .....	58
II.2.4 Le foncier .....	59
II.2.5 Les activités de production et l'utilisation du sol .....	60
II.2.5.1 L'élevage .....	60
II.2.5.2 Les cultures .....	62
II.2.6 L'exploitation dominante et définition de l'exploitation de référence .....	62
II.2.6.1 L'activité .....	62
II.2.6.2 La main-d'oeuvre .....	63
SECTION III : LA MODELISATION AGRONOMIQUE DE L'EXPLOITATION .....	64
III.1 Contexte de l'utilisation d'E.P.I.C. ....	64
III.1.1 Le semis .....	65
III.1.2 La fertilisation .....	65
III.1.3 Les traitements phytosanitaires .....	65
III.1.4 Les opérations culturales .....	66
III.2 Récapitulatif des techniques modélisées et analyse comparée des résultats .....	66
SECTION IV : MODELISATION ECONOMIQUE DE L'EXPLOITATION .....	71
IV.1 Présentation générale du modèle .....	71
IV.2 Quelques aspects particuliers au Haut Pays d'Artois .....	74
IV.2.1 La betterave : culture contingentée .....	74
IV.2.2 Les effectifs des animaux .....	74
IV.2.3 L'alimentation .....	76
IV.2.4 La modélisation de la réforme de la P.A.C. pour l'élevage .....	79
IV.2.5 La disponibilité en bâtiment .....	80
IV.2.6 Les variables financières .....	80
SECTION V : CONSEQUENCES ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES DE LA REFORME DE LA P.A.C. : LES REPONSES DU MODELE .....	80
V.1 Récapitulatif des caractéristiques de l'exploitation de référence modélisée .....	80
V.2 Les résultats .....	82
V.2.1 Validité des résultats .....	83
V.2.2 Les résultats .....	85
V.2.2 Stabilité du modèle et des résultats .....	91

IV L'IMPACT ECONOMIQUE ET ECOLOGIQUE DE LA REFORME DE LA P.A.C. ....	95
SECTION I : APPLICATION A LA BEAUCE .....	95
I.1 La modélisation bio-économique.....	98
I.1.1 La modélisation agronomique.....	98
I.1.2 Le modèle mathématique.....	99
I.2 Les résultats de la simulation .....	100
I.2.1 Validation des résultats.....	100
I.2.2 Les résultats .....	101
SECTION II : APPLICATION AU LAURAGAIS, AUX COTEAUX DU GERS ET AUX VALLEES ET TERRASSES DE HAUTE-GARONNE .....	105
II.1 La modélisation bio-économique.....	108
II.1.1 Modélisation agronomique .....	108
II.1.2 Le modèle mathématique .....	110
II.2 Les résultats de la simulation économique .....	111
SECTION III APPLICATION A L'ARTOIS .....	117
III.1 La modélisation bio-économique .....	119
III.1.1 La modélisation agronomique .....	119
III.1.2 La maquette d'optimisation économique.....	120
III.2 Résultats de la simulation économique.....	121
III.2.1 Validation des résultats .....	121
III.2.2 Résultats .....	122
SECTION IV : APPLICATION AU BARROIS .....	126
IV.1 Modélisation bio-économique.....	128
IV.1.1 Modélisation agronomique.....	128
IV.1.2 L'optimisation mathématique .....	130
IV.1.2.1 Les effectifs.....	132
IV.1.2.2 L'alimentation .....	
IV.1.2.3 Les cultures .....	135
IV.2 Résultats de la simulation .....	136
IV.2.1 Validation des résultats.....	136
IV.2.2 Les résultats.....	136
SECTION V : QUE FAUT-IL RETENIR DE CES APPLICATIONS ? .....	145
V.1 Synthèse des résultats de ces applications	
V.1.1 Des structures d'exploitation différentes .....	145
V.1.2 Des stratégies d'adaptation à la réforme différentes .....	148
V.2 Que penser des modèles bio-économiques ? .....	150
V LES MESURES RÉGLEMENTAIRES OU LA CONTRAINTE D'ENVIRONNEMENT IMPOSÉE .....	153
SECTION I : LE CONTROLE A LA SOURCE : LA TAXE A L'ENGRAIS.....	153
I.1 le cadre de la modélisation .....	153
I.2 les résultats .....	154
SECTION II : LE CONTROLE A L'EMISSION : LA REDEVANCE DE POLLUTION.....	157
II.1 La redevance de pollution animale : une politique d'urgence .....	157
II.1.1 La modélisation .....	158
II.1.2 Les résultats .....	159
II.2 La redevance de pollution végétale : le défi.....	162
II.1.1 La modélisation .....	163
II.1.2 Les résultats .....	163

SECTION III : LE CONTROLE DIRECT : LA NORME DE POLLUTION .....	167
III.1 La modélisation.....	167
III.2 Les résultats.....	168
SECTION IV : TAXE A L'ENGRAIS, REDEVANCE DE POLLUTION, NORME : QUE CHOISIR ?.....	172
IV.1 Un double objectif économique et écologique : les réponses du modèle.....	172
IV.2 Quelle politique d'environnement ? .....	174
CONCLUSION .....	176

BIBLIOGRAPHIE

SIGLIER

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET GRAPHIQUES

ANNEXES

# **LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET GRAPHIQUES**

---

## **I AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT : LES ENJEUX ECONOMIQUES**

### **SECTION I : AGRICULTURE ET ENVIRONNEMENT : HISTOIRE D'UNE RUPTURE**

Graphique n°1 : Evolution des volumes consommés d'engrais en France .....	6
Graphique n°2 : Evolution des volumes consommés de produits phytosanitaires en France .....	7
Graphique n°3 : Evolution de la part (%) des dépenses des quatre principales consommations intermédiaires hors produits agricoles en France .....	7
Graphique n°4 : Evolutions comparées des volumes des consommations intermédiaires et de la production agricole finale en France .....	8
Graphique n°5 : Evolutions comparées des productivités partielles en France .....	8

### **SECTION II : ENJEUX POLITIQUES DE L'ENVIRONNEMENT**

Schéma 1 : Détermination du taux optimal de redevance .....	18
Schéma 2 : Effets différenciés d'un même taux de redevance .....	18

### **SECTION III : LA VALEUR ECONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT : L'HERITAGE NEOCLASSIQUE**

## **II FONCTIONS DE PRODUCTION ET MESURE DE L'OFFRE AGRICOLE**

### **SECTION I : LA FONCTION DE PRODUCTION EN ECONOMIE AGRICOLE**

### **SECTION II : LES FORMES ANALYTIQUES ET L'INFERENCE STATISTIQUE**

### **SECTION III : LES MODELES DE SIMULATION DE CROISSANCE DES PLANTES**

Fig 1 : Les interrelations dans le modèle E.P.I.C.....	34
--	----

### **SECTION IV : LA PROGRAMMATION LINEAIRE ET LA MODELISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES**

Tableau 1 : Programme linéaire d'une exploitation de 200 hectares (exemple fictif).....	39
Fig 1 : Liaison E.P.I.C. modèle économique .....	43

## **III LES MODELES BIO-ECONOMIQUES COMME OUTIL D'ANALYSE ECONOMIQUE : LES IMPACTS DE LA REFORME DE LA P.A.C. DANS LE HAUT PAYS D'ARTOIS**

### **SECTION I : LA REFORME DE LA P.A.C. ....**

Tableau 1 : Conversion des animaux en U.G.B. P.A.C. : .....	50
Tableau 2 : Seuil de chargement pour l'obtention des primes européennes .....	50
Tableau 3 : Montant des primes Vaches Allaitantes et Bovins Mâles .....	50
Tableau 4 : Conversion des animaux en U.G.B. Herbe .....	51
Tableau 5 : Montant de la prime Herbe .....	51

SECTION II : MONOGRAPHIE DU HAUT PAYS D'ARTOIS .....	53
Graphique n°1 : les températures (°C) et les précipitations (mm) dans le Haut Pays d'Artois .....	54
Tableau 1 : Evolution du nombre d'exploitations et de la S.A.U.....	56
Tableau 2 : Evolution de la surface des classes de superficie .....	56
Fig. 1 : Evolution de la surface selon la taille .....	56
Tableau 3 : Part de la surface dans la S.A.U. totale.....	57
Tableau 4 : Evolution du nombre d'exploitations selon leur surface.....	57
Tableau 5 : Effectifs des classes de superficie dans l'effectif total.....	57
Tableau 6 : Structure de la main-d'oeuvre .....	58
Tableau 7 : Structure de la main-d'oeuvre en U.T.A.....	58
Tableau 8 : Répartition des tracteurs par puissance.....	58
Tableau 9 : Répartition des tracteurs par exploitation .....	59
Tableau 10 : Répartition des moissonneuses-batteuses.....	59
Tableau 11 : Part des surfaces exploitées en faire-valoir direct.....	59
Tableau 12 : Le prix de la terre.....	59
Tableau 13 : Orientations technico-économiques.....	60
Tableau 14 : Effectif des cheptels et évolution .....	60
Tableau 15 : Répartition des cheptels par exploitations .....	61
Tableau 16 : Répartition des cheptels par exploitations .....	61
Tableau 17 : Evolution du cheptel par exploitation faisant de l'élevage.....	61
Tableau 18 : Surface des emblavements et part dans la S.A.U.....	62
Fig.2 Les principales cultures en 1988 .....	62
SECTION III : LA MODELISATION AGRONOMIQUE DE L'EXPLOITATION .....	64
Tableau 1 : Rendements réels et calculés .....	
Graphique n°1 : Evolutions comparées des pertes d'azote et de divers paramètres. Exemple d'une parcelle réelle simulée par E.P.I.C.....	68
Tableau 2 : Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques .....	69
Tableau 3 : Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements .....	69
Tableau 4 : Récapitulatif des rendements moyens (qx/ha de M.S.) sur 5 ans sur précédent blé.....	70
Tableau 5 : Récapitulatif des pertes totales* d'azote moyennes sur 5 ans sur précédent blé .....	70
SECTION IV : MODELISATION ECONOMIQUE DE L'EXPLOITATION .....	
Fig 1 : Les flux d'animaux .....	75
Tableau 1 : Association des régimes et des techniques (T1,T2,T3,T4).....	78
Tableau 2 : Récapitulatif de la fertilisation par technique.....	78
Tableau 3 : Récapitulatif des rendements utiles .....	79
Tableau 4 : Seuils de chargements pour l'obtention des primes en 1993 .....	79
SECTION V : CONSEQUENCES ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES DE LA REFORME DE LA P.A.C. : LES REPONSES DU MODELE .....	
Tableau 1 : Les caractéristiques de l'exploitation modélisée.....	81
Tableau 2 : Les prix de vente des cultures .....	81
Tableau 3 : Les primes dans le Haut Pays d'Artois .....	82
Tableau 4 : Les prix de vente des animaux.....	82
Tableau 5 : Autres données économiques.....	82
Tableau 6 : Comparaison des assolements .....	83
Tableau 7 : Répartition des cultures en 1993 .....	84
Tableau 8 : Comparaison des assolements .....	84
Tableau 9 : Les résultats dans le Pas-de-Calais .....	85
Graphique n° 1 : Le revenu.....	87
Graphique n° 2 : Evolution de l'emblavement .....	88
Graphique n° 3 : Evolution des techniques culturales des cultures de vente.....	89
Graphique n° 4 : Impacts sur l'environnement.....	90
Graphique n°5 : Sensibilité du revenu à la variation du paramètre d'aversion au risque.....	91
Graphique n°6 : Evolution sur 7 ans de la culture du blé en fonction du paramètre d'aversion au risque. ....	92
Graphique n°7 : Evolution sur 7 ans de la part relative de la technique "intensive raisonnée" selon différents niveaux d'aversion au risque.....	92

## IV L'IMPACT ECONOMIQUE ET ECOLOGIQUE DE LA REFORME DE LA P.A.C.

### SECTION I : APPLICATION A LA BEAUCE

Carte 1 : La Beauce.....	96
Tableau 1 : Emblavements de l'exploitation modélisée .....	97
Tableau 2 : Comparaison des rendements calculés par EPIC et les rendements réels.....	98
Tableau 3 : Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques .....	98
Tableau 4 : Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements .....	98
Tableau 5 : Récapitulatif des rendements moyens sur 5 ans des monocultures.....	99
Tableau 6 : Comparaison de l'évolution de l'emblavement entre 1992 et 1993.....	100
Graphique n°1 : le revenu .....	101
Graphique n°2 : l'emblavement .....	102
Graphique n°3 : les techniques .....	103
Graphique n°4 : les pertes totales d'azote .....	104
Graphique n°5 : la part des surfaces irriguées.....	104

### SECTION II : APPLICATION AU LAURAGAIS, AUX COTEAUX DU GERS ET AUX VALLEES ET TERRASSES DE HAUTE-GARONNE

Carte 1 : la région Midi-Pyrénées.....	105
Tableau 1 : Importance de la surface en céréales et grandes cultures dans les 3 petites régions agricoles de Midi-Pyrénées .....	106
Carte 2 : La Haute-Garonne et les régions d'étude .....	106
Tableau 2 : Exploitations représentatives dans les trois petites régions agricoles de Haute Garonne .....	107
Tableau 3 : Emblavements des exploitations modélisées.....	108
Tableau 4 : Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques .....	109
Tableau 5 : Récapitulatif des dépenses en semences et produits de traitements .....	109
Tableau 6 : Récapitulatif des rendements moyens sur 5 ans des monocultures.....	110
Graphique n°1 : Le revenu.....	112
Graphique n°2 : Evolution de l'emblavement.....	113
Graphique n°3 : Evolution des techniques culturales.....	114
Graphique n°4 : Les pertes totales d'azote.....	115
Graphique n°5: Evolution des surfaces irriguées.....	116

### SECTION III : APPLICATION A L'ARTOIS

Carte 1 : L'Artois.....	117
Tableau 1 : Rendements calculés et rendements réels.....	119
Tableau 2 : Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques .....	119
Tableau 3 : Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements .....	120
Tableau 4 : Récapitulatif des rendements moyens sur 5 ans des monocultures.....	120
Tableau 5 : Comparaison de l'évolution de l'emblavement entre 1991, 1992 et 1993 .....	121
Graphique n° 1 : évolution du revenu .....	123
Graphique n° 2 : évolution de l'emblavement.....	124
Graphique n° 3: évolution des techniques.....	125
Graphique n° 4 : évolution des pertes totales d'azote .....	125

## SECTION IV : APPLICATION AU BARROIS

Tableau 1 : Importance du Barrois.....	126
Carte 1 : Le Barrois.....	126
Tableau 2 : Assolement des cultures de vente de l'exploitation modélisée .....	128
Tableau 3 : Effectifs de bovins en 1991.....	128
Tableau 4 : Rendements réels et calculés (qx/ha).....	129
Tableau 5 : Récapitulatif des doses d'engrais appliquées pour les différentes techniques .....	129
Tableau 6 : Récapitulatif des dépenses (F/ha) en semences et produits de traitements .....	129
Tableau 7 : Récapitulatif des rendements moyens sur 5 ans des monocultures.....	129
Fig 1 : Conduite du troupeau de génisses.....	130
Tableau 8 : Répartition de l'année en périodes .....	131
Fig 2: Conduite d'élevage des vaches allaitantes .....	131
Fig 3 : Les flux d'animaux .....	133
Tableau 9 : Equivalence UGB.....	134
Tableau 10 : Comparaison de l'évolution de l'emblavement entre 1991, 1992 et 1993 .....	136
Graphique n° 1 : Le revenu.....	139
Graphique n° 2 : Evolution de l'emblavement .....	140
Graphique n° 3 : Evolution des techniques culturales.....	141
Graphique n° 4 : Evolution des ventes animales .....	142
Graphique n° 5 : Evolution des effectifs.....	144
Graphique n° 6 : Impacts sur l'environnement : pertes totales d'azote.....	144

## SECTION V : QUE FAUT-IL RETENIR DE CES APPLICATIONS ?

Tableau 1 : récapitulatif des exploitations agricoles modélisées .....	147
Tableau 2 : Résumé des impacts de la réforme (par comparaison avec la non réforme).....	148

## V LES MESURES RÉGLEMENTAIRES OU LA CONTRAINTE D'ENVIRONNEMENT IMPOSÉE

### SECTION I : LE CONTROLE A LA SOURCE : LA TAXE A L'ENGRAIS

Graphique n°1 : Evolution du revenu en fonction de la taxe à l'engrais.....	155
Graphique n°2 : Evolution des cultures en fonction de la taxe à l'engrais.....	155
Graphique n°3 : Evolution des techniques en fonction de la taxe à l'engrais .....	156
Graphique n°4 : Apports et pertes d'azote en fonction de la taxe à l'engrais.....	156
Graphique n°5 : Comparaison des performances de la taxe à l'engrais avec et sans réforme. ....	157

### SECTION II : LE CONTROLE A L'EMISSION : LA REDEVANCE DE POLLUTION

Graphique n°1 : Redevance élevage : Evolution de la redevance de pollution payée .....	159
Graphique n°2 : Redevance élevage : Evolution du revenu agricole.....	160
Graphique n°3 : Redevance élevage : Evolution des techniques culturales .....	160
Graphique n°4 Redevance élevage : Evolution des apports d'azote .....	161
Graphique n°5 : Redevance élevage : Evolution des pertes totales d'azote .....	161
Graphique n°1 : Evolution du revenu agricole en fonction de la redevance culture.....	164
Graphique n°2 : Evolution de l'assolement en fonction de la redevance culture .....	164
Graphique n°3 : Evolution des techniques culturales en fonction de la redevance culture .....	165
Graphique n°4 : Apports d'azote et pertes de nitrates en fonction de la redevance culture .....	166
Graphique n°5 : Comparaison des performances de la redevance culture avec, sans réforme.....	166

### SECTION III : LE CONTROLE DIRECT : LA NORME DE POLLUTION

Graphique n°1 : Evolution du revenu agricole en fonction de la norme .....	168
Graphique n°2 : Evolution de l'assolement en fonction de la norme .....	169
Graphique n°3 : Evolution des techniques culturales en fonction de la norme.....	170
Graphique n°4 : Apports et pertes d'azote en fonction de la norme.....	171
Graphique n°5 : Comparaison des performances de la norme avec et sans réforme. ....	171

### SECTION IV : TAXE A L'ENGRAIS, REDEVANCE DE POLLUTION, NORME : QUE CHOISIR ?

Graphique n°1 : Performances économiques et écologiques des trois politiques .....	173
--	-----

## ANNEXE I : SIGNIFICATION STATISTIQUE DES RESULTATS OBTENUS PAR E.P.I.C.

I Comparaison des rendements réels et des rendements calculés par E.P.I.C. Comparaison de moyennes et de variances.....	1
II Techniques simulées : signification des rendements en fonction du précédent, de l'année climatique et de la technique culturale. ....	3
III Techniques simulées : signification des pertes d'azote en fonction du précédent, de l'année climatique et de la technique culturale. ....	22

## ANNEXE II : LA MODELISATION ECONOMIQUE DES EXPLOITATIONS POLYCULTURE LAIT VIANDE. MODELE RECURSIF MONOPERIODIQUE : EXEMPLE DU HAUT PAYS D'ARTOIS

I Les variables endogènes du modèle.....	43
II La fonction objectif et la contrainte de risque.....	44
III La formulation des autres contraintes.....	47
IV La récursivité.....	53
V Le programme.....	54

## ANNEXE III : LA MODELISATION ECONOMIQUE DES EXPLOITATIONS POLYCULTURE ELEVAGE. MODELE RECURSIF MULTIPERIODIQUE : EXEMPLE DU BARROIS

I Les variables endogènes du modèle.....	70
II La fonction objectif et la contrainte de risque.....	72
III La formulation des autres contraintes.....	75
IV La récursivité.....	85
V Le programme.....	87

## ANNEXE I

### COMPARAISON DES RENDEMENTS RÉELS ET DES RENDEMENTS CALCULÉS PAR E.P.I.C. :

#### COMPARAISON DE MOYENNES ET DE VARIANCES

##### Couples blé

	Nb de cas	Moyenne	Ecart type
Simulation	78	67.9359	6.176
Réalité	74	66.8708	9.558

T\* 0.81

Source de variation <sup>2</sup>	DDL	Variance	F*
Entre les groupes (between)	1	43.0777	0.6727
Dans les groupes (within)	150	64.0384	

##### Couples escourgeon

	Nb de cas	Moyenne	Ecart type
Simulation	24	59.7917	4.746
Réalité	22	58.8000	8.210

T\* 0.50

Source de variation <sup>2</sup>	DDL	Variance	F*
Entre les groupes (between)	1	11.2878	0.2569
Dans les groupes (within)	44	43.9407	

##### Couples betteraves sucrières

	Nb de cas	Moyenne	Ecart type
Simulation	28	13.6071	2.936
Réalité	24	12.3667	1.673

T\* 1.90

Source de variation <sup>2</sup>	DDL	Variance	F*
Entre les groupes (between)	1	19.8858	3.3472
Dans les groupes (within)	50	5.9410	

Couples pois

	Nb de cas	Moyenne	Ecart type
Simulation	4	40.0000	5.774
Réalité	4	40.9500	9.313

T*	0.17
----	------

Source de variation <sup>2</sup>	DDL	Variance	F*
Entre les groupes (between)	1	1.8050	0.0301
Dans les groupes (within)	6	60.0317	

Couples colza

	Nb de cas	Moyenne	Ecart type
Simulation	8	34.0000	5.155
Réalité	8	29.3700	5.524

T*	1.73
----	------

Source de variation <sup>2</sup>	DDL	Variance	F*
Entre les groupes (between)	1	85.7476	3.0039
Dans les groupes (within)	14	28.5455	

**TECHNIQUES SIMULÉES :  
SIGNIFICATION DES RENDEMENTS  
EN FONCTION DU PRÉCÉDENT, DE L'ANNÉE CLIMATIQUE  
ET DE LA TECHNIQUE CULTURALE.**

Tableau d'analyse de la variance

Couples blé

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	18446,84	159			
Année	7043,03	4	1760,76	276,27	2,37
Niveau	3664,71	3	1221,57	191,67	2,60
Précédent	6080,99	7	868,71	136,30	1,94
Pr x Ni	867,82	21	41,32	6,48	1,52
Résiduelle	790,30	124	6,37		

ppds précédent	1,56 qx/ha
ppds niveau	1,10 qx/ha
ppds année	1,23 qx/ha
ppds interaction itinéraire * précédent	3,11 qx/ha
Coefficient de variation	3,01 %

## Tests de signification

Couples blé

Rendements

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

1,56 ql/ha

		VS	PO	BL	BE	CZ	SE	LI
JACHERE LEGUMINEUSES	92,14							
POIS	89,05	S						
BLE	86,96	S	S					
BETTERAVE	86,25	S	S	N.S.				
COLZA	83,39	S	S	S	S			
JACHERE GRAMINEES	81,85	S	S	S	S	N.S.		
LIN	79,46	S	S	S	S	S	S	
MAIS	70,83	S	S	S	S	S	S	S

### Itinéraire

P.P.D.S. 0.05

1,10 ql/ha

		T4	T3	T2
T4	88,84			
T3	86,96	S		
T2	82,80	S	S	
T1	76,37	S	S	S

### Année

P.P.D.S. 0.05

1,23 ql/ha

		A4	A3	A2	A5
Année 4	94,90				
Année 3	85,68	S			
Année 2	82,96	S	S		
Année 5	80,36	S	S	S	
Année 1	74,81	S	S	S	S

**Test de signification**

Rendements

Couples blé

**Interaction Niveau \* Précédent**

P.P.D.S. 0.05	3.11 qv/ha																															
	VS4	VS3	PO4	BL4	VS2	PO3	CZ4	BE4	LI4	BL3	VS1	PO2	BE3	CZ3	SE3	SE4	BL2	BE2	LI3	PO1	CZ2	SE2	BE1	BL1	LI2	CZ1	MA4	SE1	MA3	MA2	MA1	
JACHERE LEGUMI 4	94.29																															
JACHERE LEGUMI 3	93.57	N.S.																														
POIS 4	93.33	N.S.	N.S.																													
BLE 4	92.62	N.S.	N.S.	N.S.																												
JACHERE LEGUMI 2	91.67	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																											
POIS 3	91.43	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																										
COLZA 4	91.19	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																									
BETTERAVE 4	90.48	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																								
LN 4	90.24	S	N.S.																													
BLE 3	90.24	S	N.S.																													
JACHERE LEGUMI 1	89.05	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																						
POIS 2	88.33	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																					
BETTERAVE 3	88.33	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																					
COLZA 3	87.62	S	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																					
JACHERE GRAMINEES 3	87.62	S	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.																					
JACHERE GRAMINEES 4	85.95	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
BLE 2	85.95	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
BLE 1	85.71	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
BETTERAVE 2	85.71	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
LN 3	84.76	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
POIS 1	83.10	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
COLZA 2	81.67	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
JACHERE GRAMINEES 2	81.43	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
BETTERAVE 1	80.48	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
BLE 1	79.05	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
LN 2	76.43	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
COLZA 1	73.10	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
MAIS 4	72.62	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
JACHERE GRAMINEES 1	72.38	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
MAIS 3	72.14	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
MAIS 2	71.19	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
MAIS 1	67.38	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					
LN 1	66.43	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.																					

## Tableau d'analyse de la variance

Couples escourgeon

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	2183,48	74			
Année	1228,08	4	307,02	166,95	2,52
Niveau	463,76	2	231,88	126,09	3,15
Précédent	262,66	4	65,67	35,71	2,52
Pr x Ni	126,00	8	15,75	8,56	2,10
Résiduelle	102,99	56	1,84		

ppds précédent	0,97	ql/ha
ppds niveau	0,75	ql/ha
ppds année	0,97	ql/ha
ppds interaction niveau*précédent	1,67	ql/ha
Coefficient de variation	1,83	%

## Tests de signification

Couples escourgeon

Rendements

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

0,97 ql/ha

		VS	BL	CO	LI
JACHERE LEGUMINEUSES	77,06				
BLE	74,52	S			
COLZA	74,21	S	N.S.		
LIN	72,06	S	S	S	
JACHERE GRAMINEES	71,98	S	S	S	N.S.

### Itinéraire

P.P.D.S. 0.05

0,75 ql/ha

		T4	T3
T4	76,57		
T3	74,71	S	
T2	70,62	S	S

### Année

P.P.D.S. 0.05

0,97 ql/ha

		A4	A5	A3	A2
Année 4	81,11				
Année 5	74,68	S			
Année 3	73,33	S	S		
Année 2	71,75	S	S	S	
Année 1	68,97	S	S	S	S

**Test de signification**

Couples escourgeon

Rendements

**Interaction Niveau \* Précédent**

P.P.D.S. 0.05

1,67 ql/ha

		VS4	VS3	VS2	CZ4	BL4	LI4	CZ3	SE4	BL3	LI3	SE3	BL2	CZ2	SE2
JACHERE LEGUMINEUSES T4	77,38														
JACHERE LEGUMINEUSES T3	77,14	N.S.													
JACHERE LEGUMINEUSES T2	76,67	N.S.	N.S.												
COLZA T4	76,67	N.S.	N.S.	N.S.											
BLE T4	76,67	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.										
LIN T4	76,19	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.									
COLZA T3	75,95	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.								
JACHERE GRAMINEES T4	75,95	N.S.													
BLE T3	75,00	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.						
LIN T3	72,86	S	S	S	S	S	S	S	S	S					
JACHERE GRAMINEES T3	72,62	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.				
BLE T2	71,90	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.	N.S.			
COLZA T2	70,00	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
JACHERE GRAMINEES T2	67,38	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
LIN T2	67,14	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N.S.
Moyenne	73,97														

## Tableau d'analyse de la variance

Couples colza

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	2476,32	89			
Année	829,41	4	207,35	12,08	2,30
Niveau	162,62	2	81,31	4,74	3,10
Précédent	314,43	5	62,89	3,66	2,20
Pr x Ni	2,98	10	0,30	0,02	1,83
Résiduelle	1166,89	68	17,16		

ppds précédent	2,95	qx/ha
ppds niveau	2,09	qx/ha
ppds année	2,69	qx/ha
Coefficient de variation	12,04	%

## Tests de signification

Couple colza

Rendements

### Année

P.P.D.S. 0.05

2,69 qx/ha

		A2	A3	A1	A5
Année 2	36,48				
Année3	36,23	N.S.			
Année 1	35,74	N.S.	N.S.		
Année 5	35,12	N.S.	N.S.	N.S.	
Année 4	28,40	S	S	S	S

### Itinéraire

P.P.D.S. 0.05

2,09 qx/ha

		T4	T3
T4	35,22		
T3	34,93	N.S.	
T2	33,04	S	N.S.

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

2,95 qx/ha

		VS	BL	LI	OR	SE
JACHERE LEGUMINEUSES	35,93					
BLE	35,70	N.S.				
LIN	34,52	N.S.	N.S.			
ORGE DE PRINTEMPS	33,85	N.S.	N.S.	N.S.		
JACHERE GRAMINEES	33,70	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
ESOURGEON	32,67	S	S	N.S.	N.S.	N.S.

Couple colzaRendementsNiveau \* Précédent

Couple	qx/ha
ORGE T4	36,22
JACHERE LEGUMINEUSES T2	36,00
JACHERE LEGUMINEUSES T3	36,00
BLE T3	36,00
BLE T4	36,00
JACHERE LEGUMINEUSES T4	36,00
JACHERE DE GRAMINEES T4	35,78
ORGE T3	35,78
LIN T4	35,78
JACHERE DE GRAMINEES T3	35,33
BLE T2	35,11
LIN T3	34,89
ORGE T2	34,22
LIN T2	32,67
ESCOURGEON T3	31,56
ESCOURGEON T4	31,56
ESCOURGEON T2	30,67
JACHERE DE GRAMINEES T2	29,56
Moyenne	34,40

## Tableau d'analyse de la variance

Couples betterave

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	6759,37	69			
Année	887,94	4	221,99	50,02	2,52
Niveau	2389,73	1	2389,73	538,51	4,00
Précédent	3245,67	6	540,95	121,90	2,25
Pr x Ni	5,27	6	0,88	0,20	2,25
Résiduelle	230,76	52	4,44		

ppds précédent	1,84 tonne/ha
ppds niveau	0,98 tonne/ha
ppds année	1,55 tonne/ha
Coefficient de variation	3,33 %

## Tests de signification

Couples betterave

Rendement

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

1,84 tonne/ha

		VS	PO	BL	MA	OR	SE
JACHERE LEGUMINEUSES	76,20						
POIS	67,85	S					
BLE	64,60	S	S				
MAIS	62,15	S	S	S			
ORGE DE PRINTEMPS	59,45	S	S	S	S		
JACHERE GRAMINEES	59,35	S	S	S	S	N.S.	
LIN	53,10	S	S	S	S	S	S

### Itinéraire

P.P.D.S. 0.05

0,98 tonne/ha

		T3
T3	69,09	
T2	47,40	S

### Année

P.P.D.S. 0.05

1,55 tonne/ha

		A5	A4	A2	A3
Année 5	68,11				
Année 4	65,89	S			
Année 2	63,04	S	S		
Année 3	61,32	S	S	S	
Année 1	57,86	S	S	S	S

Couples betteraveRendementNiveau \* Précédent

Couples	tonnes/ha
JACHERE DE LEGUMINEUSES T3	81,5
POIS T3	73,6
JACHERE DE LÉGUMINEUSES T2	70,9
BLE T3	70,4
MAIS T3	68,2
JACHERE DE GRAMINEES T3	65,4
ORGE T3	65,2
POIS T2	62,1
LIN T3	59,3
BLE T2	58,8
MAIS T2	56,1
ORGE T2	53,7
JACHERE DE GRAMINEES T2	53,3
LIN T2	46,9
Moyenne	63,24

## Tableau d'analyse de la variance

Couples maïs

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	81,09	79			
Année	80,68	4	20,17	3143,49	2,53
Niveau	0,00	1	0,00	0,18	4,00
Précédent	0,02	7	0,00	0,40	2,10
Pr x Ni	0,01	7	0,00	0,18	2,10
Résiduelle	0,39	60	0,01		

ppds année	0,06 tonne/ha
Coefficient de variation	0,69 %

## Test de signification

### Couples maïs

### Rendements

#### Année

P.P.D.S. 0.05

0,06 tonnes/ha

		A3	A2	A1	A5
Année3	12,98				
Année 2	12,37	S			
Année 1	11,74	S	S		
Année 5	10,64	S	S	S	
Année 4	10,33	S	S	S	S

#### Itinéraire

T2	11,62
T3	11,61

#### Précédent

Couples	tonnes/ha
LIN	11,63
POIS	11,63
MAIS	11,62
JACHERE LEGUMINEUSES	11,62
BETTERAVE	11,62
JACHERE GRAMINEES	11,61
ORGE	11,59
BLE	11,59
Moyenne	

## Tableau d'analyse de la variance

Couples pois

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	2049,77	49	41,83		
Année	1688,66	4	422,17	138,76	2,53
Précédent	251,59	9	27,95	9,19	1,71
Résiduelle	109,52	36	3,04		

ppds année	1,56 ql/ha
ppds précédent	2,21 qx/ha
Coefficient variation	3,15 %

## Tests de signification

Couples pois

Rendements

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

2,21 qx/ha

		VS	BE	ES	BL	MA	RG	OR	CZ	LI
JACHERE LEGUMINEUSES	59,05									
BETTERAVE	57,14	N.S.								
ESCOURGEON	56,43	S	N.S.							
BLE	56,19	S	N.S.	N.S.						
MAIS	55,71	S	N.S.	N.S.	N.S.					
RAY GRASS	55,71	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.				
ORGE	55,48	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.			
COLZA	54,76	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		
LIN	53,81	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	50,00	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Moyenne	55,43									

### Année

P.P.D.S. 0.05

1,56 ql/ha

		A2	A5	A4	A3
Année 2	61,19				
Année 5	59,52	S			
Année 4	59,05	S	N.S.		
Année 3	51,43	S	S	S	
Année 1	45,95	S	S	S	S

## Tableau d'analyse de la variance

Couples ray-grass

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F théorique
Générale	47,26	34	1,39		
Année	19,76	4	4,94	36,67	2,69
Précédent	24,27	6	4,04	30,02	2,1
Résiduelle	3,23	24	0,13		

ppds année	0,39 tonne/ha
ppds précédent	0,46 tonne/ha
Coefficient variation	3,26 %

### Tests de signification

Couples ray-grass

Rendements

#### Précédent

P.P.D.S. 0.05

0,46 tonne/ha

		VS	PO	ES	BL	OP	SE
JACHERE LEGUMINEUSES	12,72						
POIS	11,80	S					
ESOURGEON	11,54	S	N.S.				
BLE	11,42	S	N.S.	N.S.			
ORGE DE PRINTEMPS	10,74	S	S	S	S		
JACHERE GRAMINEES	10,70	S	S	S	S	N.S.	
LIN	9,94	S	S	S	S	S	S
Moyenne	11,27						

#### Année

P.P.D.S. 0.05

0,39 tonne/ha

		A3	A4	A5	A2
Année 3	12,20				
Année 4	12,03	N.S.			
Année 5	11,13	S	S		
Année 2	10,74	S	S	N.S.	
Année 1	10,23	S	S	S	S

## Tableau d'analyse de la variance

Couples orge

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	3837,54	69			
Année	877,15	4	219,29	125,94	2,52
Niveau	670,63	1	670,63	385,16	4,00
Précédent	2042,76	6	340,46	195,53	2,25
Pr x Ni	156,46	6	26,08	14,98	2,25
Résiduelle	90,54	52	1,74		

ppds précédent	1,15 ql/ha
ppds niveau	0,62 ql/ha
ppds année	0,97 ql/ha
Coefficient de variation	2,28 %

## Tests de signification

Couples orge

Rendements

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

1,15 q/ha

		LI	SE	CO	MA	BL	BE
JACHERE LEGUMINEUSES	65,12						
BETTERAVE A SUCRE	63,69	S					
BLE	60,48	S	S				
MAIS	58,93	S	S	S			
COLZA	54,29	S	S	S	S		
JACHERE GRAMINEES	54,29	S	S	S	S	N.S.	
LIN	48,69	S	S	S	S	S	S

### Itinéraire

P.P.D.S. 0.05

0,62 q/ha

		T3
T3	53,39	
T2	47,98	S

### Année

P.P.D.S. 0.05

0,97 q/ha

		A5	A1	A2	A3
Année 4	61,99				
Année 3	60,97	S			
Année 2	59,01	S	S		
Année 1	54,85	S	S	S	
Année 5	52,81	S	S	S	S

### Niveau \* Précédent

Couple	qx/ha
JACHERE LEGUMINEUSE T3	65,71
BETTERAVE T3	65,24
JACHERE LEGUMINEUSE T2	64,52
BLE T3	63,33
BETTERAVE T2	62,14
MAIS T3	61,90
JACHERE GRAMINEES T3	58,57
COLZA T3	58,57
BLE T2	57,62
MAIS T2	55,95
LIN T3	53,81
COLZA T2	50,00
JACHERE GRAMINEES T2	50,00
LIN T2	43,57
Moyenne	57,93

## Tableau d'analyse de la variance

Couples lin

Rendements

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	12,17	39	0,31		
Année	8,00	4	2,00	29,82	2,71
Précédent	2,28	7	0,33	4,86	2,29
Résiduelle	1,88	28	0,07		

ppds année	0,26	tonne/ha
ppds précédent	0,33	tonne/ha
Coefficient variation	2,89	%

## Tests de signification

Couples lin

Rendements

Précédent

P.P.D.S. 0.05

0,33 tonne/ha

		OP	BL	BE	CZ	VS	ES	SE
ORGE DE PRINTEMPS	9,11							
BLE	9,07	N.S.						
BETTERAVE	9,07	N.S.	N.S.					
COLZA	9,04	N.S.	N.S.	N.S.				
JACHERE LEGUMINEUSES	9,04	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.			
ORGE D AUTOMNE	9,02	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		
JACHERE GRAMINEES	8,98	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
RAY GRASS	8,33	S	S	S	S	S	S	S
Moyenne	8,96							

Année

P.P.D.S. 0.05

0,26 tonne/ha

		A3	A2	A4	A1
Année 3	9,44				
Année 2	9,38	N.S.			
Année 4	8,97	S	S		
Année 1	8,79	S	S	N.S.	
Année 5	8,21	S	S	S	S

**TECHNIQUES SIMULÉES :  
SIGNIFICATION DES PERTES D'AZOTE  
EN FONCTION DU PRÉCÉDENT, DE L'ANNÉE CLIMATIQUE  
ET DE LA TECHNIQUE CULTURALE.**

**Tableau d'analyse de la variance**

Couples blé

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	278830,87	159			
Année	42404,38	4	10601,09	12,72	2,37
Niveau	28914,55	3	9638,18	11,56	2,60
Précédent	101254,80	7	14464,97	17,35	1,94
Pr x Ni	2892,85	21	137,75	0,17	1,52
Résiduelle	103364,30	124	833,58		

ppds précédent	17,80 kg/ha
ppds niveau	12,59 kg/ha
ppds année	14,08 kg/ha
Coefficient de variation	37,67 %

## Tests de signification

Couples blé

Percolation

Précédent

P.P.D.S. 0.05

17,80 kg/ha

		VS	MA	CZ	PO	BL	BE	LI
JACHERE LEGUMINEUSES	121,67							
MAIS	99,67	S						
COLZA	85,51	S	N.S.					
POIS	78,42	S	S	N.S.				
BLE	73,71	S	S	N.S.	N.S.			
BETTERAVE	64,77	S	S	S	N.S.	N.S.		
LIN	55,31	S	S	S	S	S	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	34,01	S	S	S	S	S	S	S

Itinéraire

P.P.D.S. 0.05

12,59 kg/ha

		T4	T3	T2
T4	95,27			
T3	81,57	S		
T2	70,91	S	N.S.	
T1	58,79	S	S	N.S.

Année

P.P.D.S. 0.05

14,08 kg/ha

		A1	A4	A5	A2
Année 1	105,68				
Année 4	80,05	S			
Année 5	70,42	S	N.S.		
Année 2	70,11	S	N.S.	N.S.	
Année 3	56,92	S	S	N.S.	N.S.

Itinéraires \* précédents

Couples	kg/ha
JACHERE LEGUMINEUSES T4	141,23
JACHERE LEGUMINEUSES T3	128,03
MAIS T4	127,83
JACHERE LEGUMINEUSES T2	115,02
MAIS T3	103,82
JACHERE LEGUMINEUSES T1	102,42
COLZA T4	102,02
BLE T4	97,42
POIS T4	93,02
MAIS T2	90,62
COLZA T3	90,02
BLE T3	83,62
POIS T3	81,42
COLZA T2	79,81
BETTERAVE T4	77,42
MAIS T1	76,42
LIN T4	73,41
POIS T2	72,81
BLE T2	71,62
COLZA T1	70,21
BETTERAVE T3	69,22
POIS T1	66,41
LIN T3	61,01
BETTERAVE T2	59,81
BETTERAVE T1	52,61
JACHERE GRAMINEES T4	49,81
LIN T2	48,81
BLE T1	42,21
LIN T1	38,01
JACHERE GRAMINEES T3	35,41
JACHERE GRAMINEES T2	28,80
JACHERE GRAMINEES T1	22,00
Moyenne	76,63

## Tableau d'analyse de la variance

Couples escourgeon

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	T table
Générale	176755,52	74			
Année	37007,36	4	9251,84	9,84	2,52
Niveau	6612,71	2	3306,35	3,52	3,15
Précédent	80013,71	4	20003,43	21,28	2,52
Pr x Ni	491,91	8	61,49	0,07	2,01
Résiduelle	52629,84	56	939,82		

ppds précédent	21,83 kg/ha
ppds niveau	16,91 kg/ha
ppds année	21,83 kg/ha
Coefficient de variation	44,08 %

## Tests de signification

Couples escourgeon

Percolation

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

21,83 kg/ha

		SE	LI	BL	CO
JACHERE LEGUMINEUSES	128,69				
COLZA	78,95	S			
BLE	54,28	S	S		
LIN	49,81	S	S	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	36,00	S	S	N.S.	N.S.

### Itineraire

P.P.D.S. 0.05

16,91 kg/ha

		T4	T3
T4	81,65		
T3	68,21	N.S.	
T2	58,77	S	N.S.

### Année

P.P.D.S. 0.05

21,83 kg/ha

		A5	A2	A3	A4
Année 1	102,62				
Année 4	79,35	S			
Année 3	66,01	S	N.S.		
Année 2	65,54	S	N.S.	N.S.	
Année 5	34,21	S	S	S	S

## PERCOLATION SUR ESCOURGEON

### Classement Niveau \* Précédent

Couple	kg/ha
JACHERE LEGUMINEUSES T4	145,43
JACHERE LEGUMINEUSES T3	127,42
JACHERE LEGUMINEUSES T2	113,22
COLZA T4	92,82
COLZA T3	75,81
COLZA T2	68,21
BLE T4	63,41
LIN T4	62,81
BLE T3	53,41
LIN T3	48,81
BLE T2	46,01
JACHERE GRAMINEES T4	43,81
LIN T2	37,81
JACHERE GRAMINEES T3	35,60
JACHERE GRAMINEES T2	28,60
Moyenne	69,55

## Tableau d'analyse de la variance

Couples colza

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	T table
Générale	336778,56	89			
Année	88729,66	4	22182,41	23,81	2,30
Niveau	22792,42	2	11396,21	12,23	3,10
Précédent	158039,80	5	31607,96	33,93	2,20
Pr x Ni	3862,00	10	386,20	0,41	1,83
Résiduelle	63354,68	68	931,69		

ppds précédent	21,73 kg/ha
ppds niveau	15,37 kg/ha
ppds année	19,84 kg/ha
Coefficient de variation	37,83 %

## TESTS DE SIGNIFICATION

Couples colza

Percolation

**Précédent**

P.P.D.S. 0.05

21,73 kg/ha

		VS	SE	OP	LI	ES
JACHERE LEGUMINEUSES	166,90					
JACHERE GRAMINEES	93,15	S				
ORGE DE PRINTEMPS	70,15	S	S			
LIN	64,08	S	S	N.S.		
ESCOURGEON	45,61	S	S	S	N.S.	
BLE	44,21	S	S	S	N.S.	N.S.

**Itinéraire**

P.P.D.S. 0.05

15,37 kg/ha

		T4	T3
T4	101,95		
T3	76,41	S	
T2	63,68	S	N.S.

**Année**

P.P.D.S. 0.05

19,84 kg/ha

		A4	A1	A3	A2
Année 4	140,81				
Année 1	80,90	S			
Année 3	68,51	S	N.S.		
Année 2	58,29	S	S	N.S.	
Année 5	54,90	S	S	N.S.	N.S.

Couples colzaPercolationNiveau \* Précédent

Couples	kg/ha
JACHERE LEGUMINEUSES 4	198,44
JACHERE LEGUMINEUSES 3	165,23
JACHERE LEGUMINEUSES 2	137,03
ESCOURGEON 4	117,02
BLE 4	94,62
ESCOURGEON 3	90,41
ORGE 4	84,02
ESCOURGEON 2	72,01
BLE 3	66,81
LIN 4	61,21
ORGE 3	59,81
JACHERE GRAMINEES 4	56,41
BLE 2	49,01
ORGE 2	48,41
JACHERE GRAMINEES 2	44,81
LIN 3	40,61
JACHERE GRAMINEES 3	35,61
LIN 2	30,81
Moyenne	80,68

## Tableau d'analyse de la variance

Couples betterave

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	T table
Générale	71912,77	69			
Année	22321,72	4	5580,43	31,32	2,52
Niveau	260,48	1	260,48	1,46	4,00
Précédent	38616,98	6	6436,16	36,12	2,25
Pr x Ni	1447,89	6	241,32	1,35	2,25
Résiduelle	9265,69	52	178,19		

ppds précédent	11,64 kg/ha
ppds année	9,84 kg/ha
Coefficient de variation	18,35 %

## Tests de signification

Couple betterave

Percolation

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

11,64 kg/ha

		VS	MA	LI	PO	BL	OR
JACHERE LEGUMINEUSES	55,71						
MAIS	51,31	N.S.					
LIN	35,96	S	S				
POIS	34,26	S	S	N.S.			
BLE	29,66	S	S	N.S.	N.S.		
ORGE DE PRINTEMPS	25,46	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	22,26	S	S	S	S	N.S.	N.S.

### Itinéraire

T2	70,82
T3	74,67

### Année

P.P.D.S. 0.05

9,84 kg/ha

		A5	A4	A2	A3
Année 5	100,66				
Année 4	78,38	S			
Année 2	75,80	S	N.S.		
Année 3	61,66	S	S	S	
Année 1	47,23	S	S	S	S

---

Couple betteravePercolationNiveau \* Précédent

Couple	kg/ha
JACHERE LEGUMINEUSES T3	113,83
JACHERE LEGUMINEUSES T2	109,02
MAIS T3	108,62
MAIS T2	96,62
LIN T2	80,82
POIS T3	71,42
POIS T2	65,62
BLE T3	63,01
LIN T3	63,01
BLE T2	55,61
ORGE T3	54,21
JACHERE GRAMINEES T3	48,61
ORGE T2	47,61
JACHERE GRAMINEES T2	40,41
Moyenne	72,75

## Tableau d'analyse de la variance

Couples pois

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	59489,28	49	1214,07		
Année	2074,46	4	518,61	0,79	2,53
Précédent	33895,06	9	3766,12	5,76	1,71
Résiduelle	23519,77	36	653,33		

ppds précédent	32,33 kg/ha
Coefficient variation	28,24 %

## Test de signification

Couples pois

Percolation

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

32,33 kg/ha

		VS	MA	CZ	LI	ES	BL	OR	BE	RG
JACHERE LEGUMINEUSE	133,43									
MAIS	124,43	N.S.								
COLZA	123,62	N.S.	N.S.							
LIN	99,02	S	N.S.	N.S.						
ESOURGEON	80,02	S	S	S	N.S.					
BLE	76,42	S	S	S	N.S.	N.S.				
ORGE	74,42	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.			
BETTERAVE	67,62	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		
RAY GRAS	66,61	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	59,61	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Moyenne	90,52									

### Année

kg/ha

Année 2	61,19
Année 5	59,52
Année 4	59,05
Année 3	51,43
Année 1	45,95

## Tableau d'analyse de la variance

Couples maïs

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	T table
Générale	172986,83	79			
Année	14770,72	4	3692,68	11,23	2,53
Niveau	24896,57	1	24896,57	75,73	4,00
Précédent	113403,99	7	16200,57	49,28	2,10
Pr x Ni	190,69	7	27,24	0,08	2,10
Résiduelle	19724,86	60	328,75		

ppds précédent	15,81 kg/ha
ppds niveau	7,91 kg/ha
ppds année	12,50 kg/ha
Coefficient de variation	18,49 %

## Tests de signification

### Couples maïs

### Percolation

#### Précédent

P.P.D.S. 0.05

15,81 kg/ha

		VS	PO	MA	BE	BL	LI	OR
JACHERE LEGUMINEUSES	182,24							
POIS	114,23	S						
MAIS	113,83	S	N.S.					
BETTERAVE	93,82	S	S	S				
BLE	86,72	S	S	S	N.S.			
LIN	70,52	S	S	S	S	S		
ORGE DE PRINTEMPS	70,42	S	S	S	S	S	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	52,51	S	S	S	S	S	S	S

#### Itineraire

P.P.D.S. 0.05

7,91 kg/ha

		T3
T3	115,68	
T2	80,39	S

#### Année

P.P.D.S. 0.05

12,50 kg/ha

		A4	A3	A5	A2
Année 4	112,59				
Année 3	104,64	N.S.			
Année 5	100,33	N.S.	N.S.		
Année 2	100,21	N.S.	N.S.	N.S.	
Année 1	72,39	S	S	S	S

#### Niveau \* Précédent

Couples	kg/ha
JACHERE LEGUMINEUSES T3	199,24
JACHERE LEGUMINEUSES T2	165,24
MAIS T3	135,43
POIS T3	131,23
BETTERAVE T3	110,63
BLE T3	103,62
POIS T2	97,22
MAIS T2	92,22
LIN T3	88,22
ORGE T3	88,02
BETTERAVE T2	77,02
BLE T2	69,82
JACHERE GRAMINEES T3	69,01
ORGE T2	52,81
LIN T2	52,81
JACHERE GRAMINEES T2	36,01
Moyenne	98,03

## Tableau d'analyse de la variance

Couples jachère graminées

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	23417,42	44	532,21		
Année	1566,55	4	391,64	0,90	2,53
Précédent	7941,69	8	992,71	2,28	2,23
Résiduelle	13909,18	32	434,66		

ppds précédent	26,37 kg/ha
Coefficient de variation	57,58 %

## Test de signification

Couples jachère graminées

Percolation

### Précédent

PPDS 0.05

26,37 kg/ha

		MA	PO	CZ	BE	ES	BL	OR	RG
MAIS	54,61								
POIS	54,41	N.S.							
COLZA	45,41	N.S.	N.S.						
BETTERAVE	43,41	N.S.	N.S.	N.S.					
ESCOURGEON	31,60	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.				
BLE	30,80	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.			
ORGE DE PRINTEMPS	28,01	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		
RAY GRASS	24,20	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
LIN	13,40	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Moyenne	36,21								

### Année

	kg/ha
Année 4	47,68
Année 2	35,23
Année 1	34,34
Année 3	32,56
Année 5	31,23

## Tableau d'analyse de la variance

Couples jachère légumineuses

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	93377,12	44	2122,21		
Année	41498,32	4	10374,58	15,71	2,69
Précédent	30741,35	8	3842,67	5,82	2,23
Résiduelle	21137,46	32	660,55		

ppds année	24,23 kg/ha
ppds précédent	32,51 kg/ha
Coefficient de variation	19,74 %

## Test de signification

Couples jachère légumineuses

Percolation

### Précédent

PPDS 0.05

32,51 kg/ha

		MA	CZ	LI	PO	ES	BL	OR	BE	RG
MAIS	179,84									
COLZA	162,63	N.S.								
LIN	147,03	S	N.S.							
POIS	126,43	S	S	N.S.						
ESOURGEON	122,62	S	S	N.S.	N.S.					
BLE	117,02	S	S	N.S.	N.S.	N.S.				
ORGE DE PRINTEMPS	116,22	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.			
BETTERAVE	106,62	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		
RAY GRASS	93,42	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
Moyenne	130,20									

### Année

PPDS 0.05

24,23 kg/ha

		A2	A4	A3	A5
Année 2	167,48				
Année 4	143,70	N.S.			
Année 3	138,47	S	N.S.		
Année 5	125,47	S	N.S.	N.S.	
Année 1	75,90	S	S	S	S

## Tableau d'analyse de la variance

Couples ray-grass

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Ggénérale	31563,90	34	928,35		
Année	11933,18	4	2983,29	14,82	2,69
Précédent	14799,54	6	2466,59	12,25	2,10
Résiduelle	4831,18	24	201,30		

ppds année	15,17 kg/ha
ppds précédent	17,95 kg/ha
Coefficient variation	24,92 %

## Tests de signification

Couples ray-grass

Percolation

Précédent

P.P.D.S. 0.05

17,95 kg/ha

		VS	PO	LI	OR	ES	BL
JACHERE LEGUMINEUSES	97,42						
POIS	72,41	S					
LIN	53,61	S	S				
ORGE DE PRINTEMPS	53,21	S	S	N.S.			
ESOURGEON	50,41	S	S	N.S.	N.S.		
BLE	43,21	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	28,20	S	S	S	S	S	N.S.
Moyenne	56,92						

Année

P.P.D.S. 0.05

15,17 kg/ha

		A1	A4	A5	A2
Année 1	86,59				
Année 4	59,16	S			
Année 5	56,29	S	N.S.		
Année 2	54,15	S	N.S.	N.S.	
Année 3	28,43	S	S	S	S

## Tableau d'analyse de la variance

Couples lin

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	F table
Générale	99184,32	39	2543,19		
Année	5422,73	4	1355,68	1,61	2,71
Précédent	70119,98	7	10017,14	11,86	2,29
Résiduelle	23641,62	28	844,34		

ppds précédent	36,76 kg/ha
Coefficient variation	48,30 %

## Test de signification

Couple lin

Percolation

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

36,76 kg/ha

		VS	BE	CZ	BL	ES	RG	OR
JACHERE LEGUMINEUSES	159,03							
BETTERAVE	84,62	S						
COLZA	52,21	S	N.S.					
BLE	49,41	S	N.S.	N.S.				
ESOURGEON	47,21	S	S	N.S.	N.S.			
RAY GRASS	42,21	S	S	N.S.	N.S.	N.S.		
ORGE	34,81	S	S	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	11,80	S	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.
Moyenne	60,16							

### Année

	kg/ha
Année 1	60,76
Année 2	52,64
Année 3	56,14
Année 4	82,14
Année 5	49,14

## Tableau d'analyse de la variance

Couples orge

Percolation

	SCE	°L	Variance	F calculé	T table
Générale	103342,21	69			
Année	3431,67	4	857,92	1,04	2,52
Niveau	929,33	1	929,33	1,12	4,00
Précédent	55850,00	6	9308,33	11,24	2,25
Pr x Ni	57,00	6	9,50	0,01	2,25
Résiduelle	43074,20	52	828,35		

ppds précédent	25,10 kg/ha
Coefficient de variation	46,10 %

## Test de signification

Couples orge

Percolation

### Précédent

P.P.D.S. 0.05

25,10 kg/ha

		VS	CZ	MA	BL	BE	LI
JACHERE LEGUMINEUSES	118,83						
COLZA	76,31	S					
MAIS	75,52	S	N.S.				
BLE	50,41	S	S	S			
BETTERAVE	48,81	S	S	S	N.S.		
LIN	38,21	S	S	S	N.S.	N.S.	
JACHERE GRAMINEES	28,91	S	S	S	N.S.	N.S.	N.S.

### Itinéraire

T3	66,07	kg/ha
T2	58,78	

### Année

Année 5	71,73	kg/ha
Année 4	68,52	
Année 1	61,73	
Année 2	57,66	
Année 3	52,51	

### Itinéraire \* Précédent

Couple	kg/ha
JACHERE LEGUMINEUSE T3	123,43
JACHERE LEGUMINEUSE T2	114,23
COLZA T3	80,22
MAIS T3	79,82
COLZA T2	72,41
MAIS T2	71,22
BLE T3	53,61
BETTERAVE T3	50,61
BLE T2	47,21
BETTERAVE T2	47,01
LIN T3	42,61
LIN T2	33,81
JACHERE GRAMINEES T3	32,21
JACHERE GRAMINEES T2	25,61
Moyenne	62,43

## ANNEXE II

### LA MODELISATION ECONOMIQUE DES EXPLOITATIONS POLY CULTURE LAIT VIANDE

#### MODELE RECURSIF MONOPERIODIQUE

#### EXEMPLE DU HAUT PAYS D'ARTOIS

La maquette technico-économique proposée simule les activités de l'exploitation que nous venons de présenter sur une période de six ans (1991-1996). La fonction objectif cherche à maximiser un revenu espéré compte tenu d'un certain nombre de contraintes physiques et financières.

Comme pour les deux types de modèles précédents, les caractéristiques du modèle de l'exploitation sont les suivantes :

- optimisation annuelle d'un revenu moyen calculé en fonction des anticipations sur les prix, les primes et les rendements techniques, sur une période de 6 années;
- prise en compte explicite des contraintes de risque liées aux variations climatiques et aux incertitudes économiques (niveaux futurs des prix et des primes);
- prise en compte de contraintes de trésorerie en considérant différents niveaux d'endettement initial;
- récursivité (les résultats de l'année en cours deviennent les conditions de départ de l'année suivante);
- l'augmentation des capacités de production est représentée par des achats supplémentaires de services du capital productif (matériel, foncier, ...) valorisés aux coûts d'usage, il n'y a pas de fonction d'investissement explicite.

#### I LES VARIABLES ENDOGENES DU MODELE

Le modèle optimise un certain nombre de variables. Ce sont :

- *les surfaces cultivées.* (variable  $X(c,s,t,g,p)$ )

Elles sont exprimées en fonction du précédent, de la technique, du sol, des conditions de prix (réforme de la PAC ou non). Le modèle optimise donc la répartition de la SAU entre les cultures de ventes (blé tendre, escourgeon, betteraves sucrières), les cultures fourragères (prairies permanentes et temporaires, maïs ensilage) et les surfaces gelées (colza énergétique, engrais vert).

- *la structure foncière.*

Le modèle optimise les terres cédées ou prises en location. (Variables **LANDLEASE** et **LANDRENT**).

- *le travail*

Ces variables s'expriment mensuellement ( $r$ ) :

en heures disponibles au niveau de l'exploitation

**HFLT<sub>r</sub>** = nombre d'heures disponibles par mois ( $r$ ) pour les travaux de traction;

**HFLS<sub>r</sub>** = nombre d'heures disponibles par mois pour les travaux de surveillance

$HFH_r$  = nombre d'heures disponibles par mois pour les travaux de récolte.

en heures acquises à l'extérieur (location)

$SEASONH_r$  = travail saisonnier pour la surveillance des cultures;

$TRACT_r$  = nombre d'heures acquises pour les travaux de traction (hommes et machines);

$HARV_r$  = nombre d'heures acquises pour les travaux de récolte (hommes et machines).

et en heures cédées à l'extérieur (location)

$HFLl_r$  = nombre d'heures cédées par mois;

$TRACTL_r$  = nombre d'heures cédées pour les travaux de traction (hommes et machines);

$HARVL_r$  = nombre d'heures cédées pour les travaux de récolte (hommes et machines).

#### - les variables financières

Elles concernent les emprunts, les placements et la trésorerie.

$LOAN_r$  = montant des emprunts à court terme par mois;

$LOANN_r$  = montant des emprunts à court terme pour compenser les découverts par mois;

$LOANR_r$  = montant des remboursements d'emprunts;

$LOANRR_r$  = montant des remboursements d'emprunts *loann*

$SAVE_r$  = placements à court terme par mois (7 % : argent disponible annuellement);

$SAVE4_r$  = placements à court terme par mois (4 % ; argent disponible mensuellement);

$CASH_r$  = disponibilité de trésorerie par mois;

- les écarts négatifs par rapport au revenu minimum fixé

$DEV_{n,e,ps}$  = écart annuel toléré selon cinq conditions agronomiques (n) (niveaux des rendements par aléa climatique), deux scénarios de primes de la P.A.C. anticipés pour chaque culture par l'agriculteur (e), et trois scénarios de prix de vente des cultures (ps). Au total, il y a trente états de la nature possibles supposés équiprobables pour l'exploitant.

## II LA FONCTION OBJECTIF ET LA CONTRAINTE DE RISQUE

- la contrainte de risque. La formulation retenue ici est une variante de la formulation Target MOTAD proposée par Tauer (1983), dans laquelle la fonction objectif, est une utilité espérée  $U$ , telle que  $U = E - \Phi\lambda$  (Boussemart et al., 1994).

Dans la formulation adoptée,  $\lambda$  représente le niveau de risque envisagé par l'agriculteur et  $\Phi$  ou aversion au risque, le taux de substitution entre le revenu espéré ( $E$ ) et la somme des écarts négatifs ( $\lambda$ ).

Le revenu  $E$  s'écrit donc ainsi :

REVENU	
- Coûts salariaux	+ Marges directes
- Achats de services	+ Intérêts perçus sur les placements
- Achats de bâtiments	
- Fermages	+ Revenus fonciers
- Charges financières	
- Charges fixes	
- Amortissements	

## II.1 La marge directe

La différence entre les **recettes totales**, provenant des ventes et des primes, et les **charges directes** (achats d'animaux, charges annexes de culture et d'élevage, d'alimentation, d'approvisionnement et de matériel) représente ce que l'on appelle généralement la **marge directe**. Elle est calculée par hectare pour chaque culture et pour chaque cheptel défini en fonction de son alimentation.

Remarques

*Le rendement moyen des cultures de vente :*

Il dépend à la fois de la production en cours et du précédent cultural :

Les rendements par condition agronomique proviennent des résultats du simulateur E.P.I.C..

Nous avons ici pris en compte les risques associés aux aléas climatiques et aux maladies, notamment quand le niveau des traitements phytosanitaires diminue.

*Le rendement moyen pour les cultures fourragères*

Exprimé selon diverses techniques, il est directement issu de la littérature.

*Les prix de vente des cultures, des animaux et du lait, et les prix d'achat des animaux:*

Il s'agit de données **exogènes** qui dépendent de la **P.A.C.** et du **marché**.

*Les primes culture et élevage:*

Données exogènes pré définies

*Poids des animaux*

Données exogènes. Les poids des animaux destinés à l'abattage sont exprimés en poids carcasse.

o Les charges directes :

Elles comprennent les charges d'approvisionnement en fertilisants et produits phytosanitaires et les coûts liés au travail de la terre (carburants, entretien) pour toutes les cultures.

Elles regroupent aussi tous les frais directs liés à l'élevage : alimentation achetée et frais divers.

## II.2 Les intérêts perçus sur les placements

Ce sont les revenus issus de placements :

Intérêts perçus = Somme des placements mensuels \* Taux d'intérêt par période

■ **Les placements mensuels :** Il s'agit d'une variable mensuelle **endogène** qui est à optimiser, le modèle indiquant le montant et le moment propice pour effectuer des placements.

■ **Le taux d'intérêt mensuel :**

C'est une donnée **exogène** que l'on fixe à 7 % pour l'épargne bloquée sur un an et à 4 % pour l'épargne disponible à tous moments.

## II.3 Les revenus fonciers

Ces revenus proviennent des terres, en propriété, données en location à d'autres agents économiques. Ils dépendent du nombre d'hectares cédés optimisés par le modèle et du prix du fermage, paramètre exogène.

#### II.4 Les coûts salariaux

Les coûts salariaux sont exprimés par mois et dépendent du nombre d'heures de travail et de son coût horaire. Les heures de travail saisonnier sont optimisées par le modèle compte tenu des disponibilités en main-d'oeuvre permanente de l'exploitation (famille et salariés). La rémunération de la main-d'oeuvre salariale permanente est un coût fixe de l'activité.

#### II.5 Les achats de services

Le modèle optimise les besoins en heures supplémentaires pour les opérations de traction et les travaux de récolte. Ces quantités pondérées par le prix<sup>1</sup> horaire du service d'une entreprise de travaux agricoles donnent le montant total de ces achats.

#### II.6 Les achats de bâtiments

Le modèle optimise l'achat de m<sup>2</sup> supplémentaires de bâtiments nécessaires pour loger les animaux. Le prix unitaire est fixé à 900 F.

#### II.7 Le fermage

Cette charge de structure correspond aux hectares supplémentaires que l'agriculteur désire mettre en culture pour optimiser son revenu, multipliés par le prix du fermage. Ces hectares supplémentaires sont optimisés par le modèle. La charge foncière de la S.A.U. initiale en faire-valoir indirect est comptabilisée dans les coûts fixes.

#### II.8 La charge financière

Elle provient des emprunts mensuels à court terme réalisés à un taux d'intérêt annuel moyen de 11 % et des emprunts à court terme contractés pour compenser les découverts à un taux d'intérêt annuel moyen de 20 %. Ce sont des variables endogènes dont les montants et les dates de réalisation sont optimisés par le modèle.

#### II.9 Les charges fixes

Il s'agit des charges des constructions ainsi que des frais généraux (assurances, honoraires, impôts, taxes, ...) mais aussi des coûts de la main-d'oeuvre salariée permanente et des intérêts versés relatifs à l'encours à moyen et long terme initial. Cet encours est supposé remboursable en 10 ans à un taux d'intérêt de 10 % à partir de la première année de notre période d'analyse. Toutes ces charges n'interviennent pas dans le choix de la solution optimale de l'année en cours puisqu'elles sont exogènes mais influencent les résultats futurs par le biais de la récursivité du

---

<sup>1</sup> Les prix proviennent du barème indicatif d'entraide 92 et s'entendent hors frais de carburant et d'entretien déjà comptabilisés dans les charges directes à l'hectare. Ils recouvrent les rémunérations des services de l'entreprise agricole (amortissement de son matériel et coût du conducteur d'engin).

montant de la trésorerie d'une année à l'autre. Les amortissements du matériel sont considérés à part.

Le niveau de risque  $\lambda$  correspond à la somme sur les différents états de la nature (conditions climatiques, niveaux des primes et des prix) des écarts négatifs au revenu minimum.

On peut le formuler ainsi :

$$E - \sum_j c_j X_j - Z_t^- \leq 0$$

$$\sum_t p_t Z_t^- \leq \lambda$$

où :

$c_j$  revenu espéré par activité ;

$X_j$  niveau de l'activité j ;

$E$  est le revenu espéré ;

t scénario aléatoire (dans notre modèle défini par la variabilité des rendements des cultures, et d'anticipations sur la variabilité des prix et des primes) ;

$Z_t^-$  l'écart négatif au revenu espéré du scénario t ;

$p_t$  la probabilité d'occurrence du scénario t ;

$\lambda$  la somme des écarts négatifs.

### III LA FORMULATION DES AUTRES CONTRAINTES

La formulation des contraintes du programme linéaire consiste à écrire toutes les relations qui limitent le choix des valeurs possibles des variables de décision. Nous allons prendre en compte plusieurs types de contraintes : jachère, cultures d'été, ressources en main-d'oeuvre, disponibilités en matériel, crédit, trésorerie, risques et positivité de certaines variables de décision, effectifs des animaux, calcul des surfaces en herbe, besoins animaux en fourrage, céréales et cmv, disponibilité en bâtiments, réforme de la PAC pour l'élevage.

#### III.1 La jachère

Pour bénéficier des aides compensatoires au titre de sa prochaine récolte, l'exploitant doit mettre en jachère 15 % de sa surface C.O.P. (Céréales, Oléagineux, Protéagineux). Le gel des terres interviendra à partir de la troisième année de notre période d'analyse, date d'application de la réforme la P.A.C. :  $0,15.(X_{\text{blé},P.A.C.} + X_{\text{escourgeon},P.A.C.} + X_{\text{jachère}}) = X_{\text{jachère}}$ ,

avec  $X_{j,PAC}$  = surface de cultures j rémunérées aux conditions de prix et de primes de la PAC. Les surfaces en jachère sont valorisées soit en engrais verts soit en colza énergétique. Les surfaces en maïs ne sont pas comptées dans la SCOP, mais interviennent dans le calcul du chargement.

### III.2 Les cultures d'été

Les surfaces optimales d'orge et de colza avec précédent maïs doivent être nulles. Cela est dû au fait que les périodes de semis et de récolte de ces cultures se chevauchent :

J - F - M - A - M - J - J - A - S - O - N - D - J - F - M - A - M - J - J - A - S -

Maïs : S \_\_\_\_\_ R

Colza : S \_\_\_\_\_ R

Orge : S \_\_\_\_\_ R

S = Semis et R = Récolte

$$X_{\text{colza avec précédent maïs}} = 0$$

$$X_{\text{orge avec précédent maïs}} = 0$$

### III.3 Les productions contingentées

Les productions de betteraves sucrières et de lait sont contingentées et ne doivent donc pas excéder un quota de production fixé arbitrairement.

### III.4 La main d'oeuvre

#### ■ La main-d'oeuvre permanente

Pour chaque période, les quantités optimales d'heures de travail nécessaires pour la traction et la supervision des travaux (variables endogènes) auxquelles on ajoute les heures disponibles pour les récoltes (ressources) ne doivent pas dépasser les ressources de main-d'oeuvre permanente (famille + salariés) de l'exploitation ôtées des ressources louées à l'extérieur :

$$HFLT_r + HFSL_r + HFH_r \leq HFL_r - HFLL_r$$

avec

$FLT_r$  = main-d'oeuvre permanente du mois r pour la traction,  
 $HFSL_r$  = main-d'oeuvre permanente pour la supervision,  
 $HFH_r$  = disponibilité mensuelle pour les travaux de récoltes,  
 $HFL_r$  = disponibilité mensuelle de main-d'oeuvre permanente.  
 $HFLL_r$  = heures de travail cédées à l'extérieur.

#### { La supervision

Le travail de surveillance des cultures est assuré par la main-d'oeuvre permanente chargée de cette tâche éventuellement aidée par des employés saisonniers si besoin est :

$$S_c a_{cr} \cdot X_c \leq HFSL_r + SEASONH_r - HFLL_r$$

avec

$a_{cr}$  = quantité de travail de surveillance par hectare de culture c pour le mois r,  
 $SEASONH_r$  = achat d'heures de travail saisonnier pour le mois r.

### III.5 La récolte

Les travaux de récolte par mois sont assurés par les disponibilités mensuelles de l'exploitation pour ces tâches majorées (si besoin est) des achats de services à une entreprise de travaux agricoles minorées des heures de travail de récolte cédées :

$$S_c b_{cr} \cdot X_c \leq HFH_r + HARV_r - HARVL_r$$

avec  $b_{cr}$  = temps nécessaire pour la récolte d'un hectare de culture  $c$  au mois  $r$ ,  
 $HARV_r$  = achats de services de travaux de récoltes (variable endogène).  
 $HARVL_r$  = cession de services de travaux de récoltes (variable endogène).

### III.6 La traction

Les opérations de traction par mois sont effectuées par la main-d'oeuvre permanente affectée à ce travail complétée éventuellement d'achats d'heures de services à une entreprise extérieure, ôtée des heures de traction cédées :

$$S_c d_{cr} \cdot X_c \leq HFLT_r + TRACT_r - TRACTL_r$$

avec  $d_{cr}$  = temps de traction nécessaire pour un hectare de culture  $c$ ,  
 $HFLT_r$  = main-d'oeuvre permanente pour les opérations de traction pour le mois  $r$  (endogène),  
 $TRACT_r$  = achats de services de traction au mois  $r$  (endogène).  
 $TRACTL_r$  = cession de services de traction au mois  $r$  (endogène).

### III.7 Le crédit

Le modèle offre la possibilité de réaliser des emprunts à court terme mais il suppose que la banque fixe un montant maximum annuel d'engagement que l'exploitant ne peut dépasser :

$$S_r LOAN_r \leq MAXST$$

avec  
 $LOAN_r$  = niveau des emprunts à court terme pour le mois  $r$ ,  
 $MAXST$  = prêt annuel maximum que la banque est prête à accorder à l'exploitant.

### III.8 La trésorerie

Le solde de trésorerie du mois précédent majoré des rentrées monétaires de la période et diminué des débours mensuels donne l'état de la trésorerie du mois en cours :

<b>Solde de trésorerie</b>	
Dépenses mensuelles : charges opérationnelles, charges fixes, charges salariales, location de terre, location de main-d'oeuvre, location de matériel, prélèvements familiaux, autofinancement	Solde de trésorerie du mois précédent

Placements par mois , remboursement d'emprunts et intérêts payés	Recettes du mois : ventes, primes, location de main-d'oeuvre, location de terre
<b>Solde de trésorerie du mois</b>	Emprunts mensuels et intérêts perçus

La trésorerie du début de l'année correspond à la trésorerie de la fin de l'année précédente majorée du montant de l'épargne annuelle et diminuée des annuités de remboursement des emprunts de l'année précédente.

### III.9 Le foncier

La S.A.U. pour l'exercice en cours ne peut dépasser la S.A.U. de l'exercice précédent majorée des hectares supplémentaires repris en fermage et diminuée des terres cédées en location :

$$S_c X_{ct} \leq S.A.U._{t-1} + LANDRENT_t - LANDLEASE_t$$

avec

$S.A.U._t$  = S.A.U. de l'année t,

$LANDRENT_t$  = hectares supplémentaires loués,

$LANDLEASE_t$  = hectares cédés.

Les hectares cédés ne peuvent être prélevés que sur le foncier en propriété :

$$LANDLEASE_t \leq PROP_t$$

avec  $PROP_t$  = terres en propriété.

### III.10 L'alimentation animale

Les besoins en fourrage à l'auge (effectif \* besoin unitaire en fourrage \* durée d'alimentation) doivent être inférieurs ou égaux aux ressources (surfaces fourragères \* rendement). Les besoins unitaires par animal et par an sont exprimés au niveau de régimes alimentaires types. L'optimisation de l'adéquation entre les besoins et les ressources repose donc sur un choix optimal des régimes.

Les besoins en tourteaux et cmv sont directement associés aux différents régimes disponibles.

Les besoins en céréales sont exclusivement couverts par les achats extérieurs.

Les besoins en pâturage pour le printemps, l'été et l'automne sont globalisés au niveau de chacun des régimes alimentaires disponibles et sont exprimés en ha/équivalent vache.

### III.11 Les bâtiments d'élevage

Les besoins en bâtiments des animaux ne peuvent excéder la capacité de l'exploitation :

La capacité de l'exploitation égale la capacité initiale plus les m<sup>2</sup> supplémentaires achetés

### III.12 Le renouvellement du troupeau

La maquette économique modélise les cheptels suivants :

- En bovins mâles : veaux de huit jours, taurillons de 18 mois.
- En bovins femelles : génisses de moins d'un an, génisses d'un an, génisses de deux ans, vaches laitières, vaches de réforme maigres et grasses.

Les effectifs de chacun de ces cheptels sont, d'une part, interdépendants, et d'autre part, évoluent en fonction des ventes et des achats. (Cf. fig. 1). Ainsi le modèle qui maximise annuellement le revenu optimise-t-il les effectifs durant cette même période.

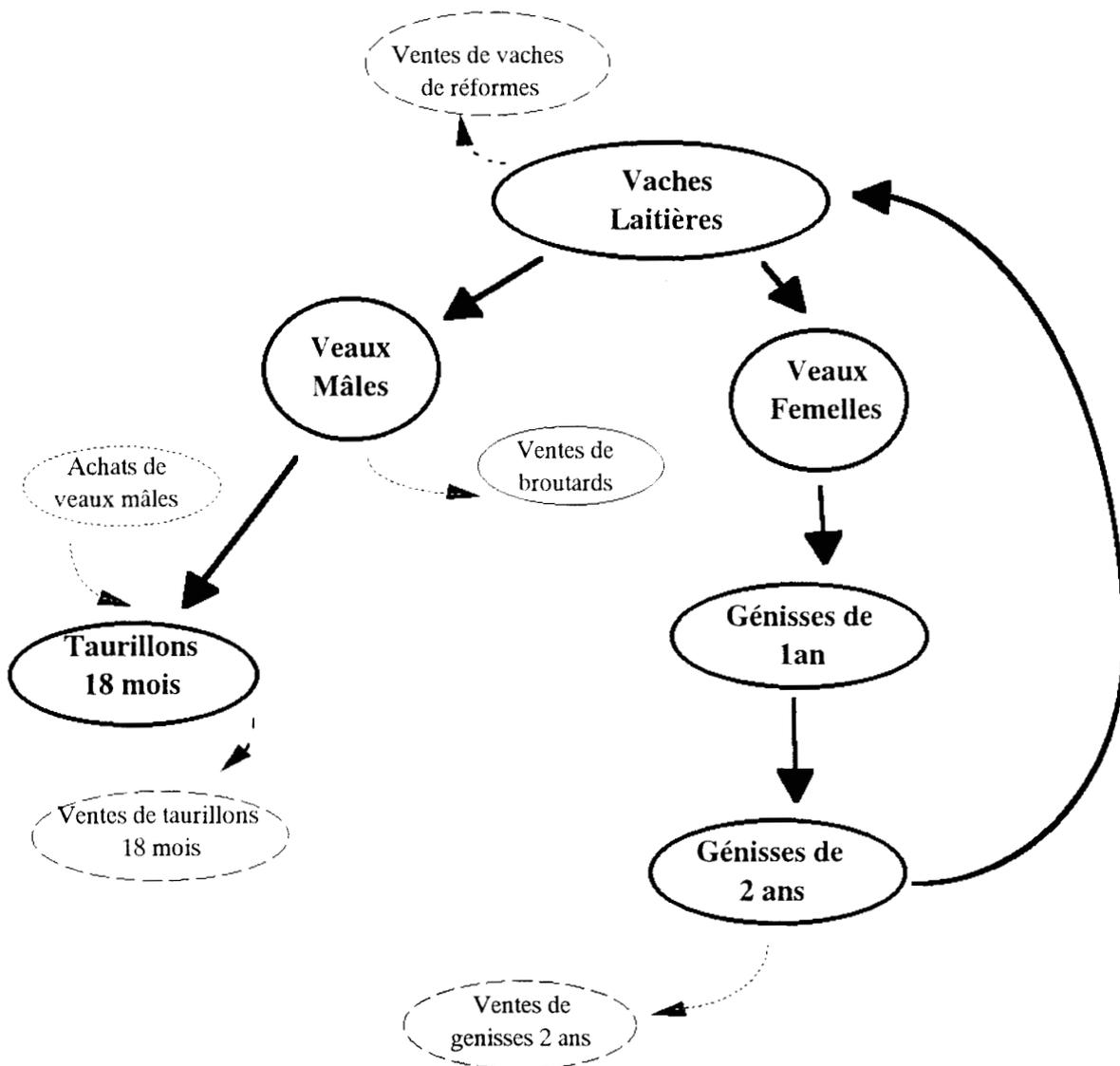


Fig 1 : Les flux d'animaux

Les critères techniques de conduite d'élevage qui ont été retenus sont les suivants :

- Le taux de réforme : l'agriculteur est obligé de réformer au moins 25 % de ses vaches annuellement.

- Le nombre de veaux sevrés par vache : 0.9.
- Répartition mâles-femelles des veaux : 50-50.

L'activité d'élevage sur l'année peut se résumer de la façon suivante :

jan	fev	mar	avr	mai	jui	jlt	aout	sep	oct	nov	dec
	vente TA				vente VLM		vêlage VL achat et vente VEA vente de GL2	vente VLG			

VL vache laitière

VEA veaux mâles

VLM VLG vache de réforme maigre, grasse

GL2 génisses de deux ans

TA taurillon 18 mois

Ainsi au cours d'une année de croisière, le troupeau est constitué du cheptel de vaches laitières présent douze mois, des génisses de moins d'un an (veaf) présentes 4 mois (août à décembre), des génisses d'un an (gl1) présentes l'année entière, des génisses de plus d'un an (gl2) présentes 8 mois jusqu'à leur premier vêlage. Les veaux mâles naissant en août, sont considérés comme taurillons dès leur 8 jours. Le cycle de ces derniers, qui dans la réalité s'échelonne sur 18 mois (août an - février an+2), est ramené à l'année dans la modélisation. On considère que la vente des animaux a lieu en février.

Ces mouvements ne sont pas visibles dans le modèle puisque l'année n'est pas divisée en périodes. Les temps de présence sont toutefois pris en compte pour évaluer globalement les besoins alimentaires des animaux.

Les effectifs se raisonnent période par période, ce qui permet de suivre très précisément leur évolution en fonction des achats, des ventes et des changements de catégorie.

Plutôt que de présenter ici les équations (que l'on trouvera dans le programme GAMS présenté à la suite de cette annexe) nous préférons montrer sous forme de graphiques, l'évolution des effectifs pour chacune des catégories d'animaux.

### III.13 Le chargement

Contrainte de chargement PAC pour l'obtention de la prime PAC : le chargement PAC (UGB PAC / SFP) calculé doit être inférieur ou égal au seuil prédéfini (limipac). Le montant de la prime totale touchée dépend du nombre d'UGB primés calculés à partir des UGB primables desquelles sont déduites en priorité les UGB laitières.

Contrainte de chargement HERBE pour l'obtention de la prime HERBE : le chargement HERBE (UGB HERBE / SFP) calculé doit être inférieur ou égal au seuil prédéfini (limiher).

Contrainte de prime extensification pour l'obtention de la prime extensification : le chargement PAC (UGB PAC / SFP) calculé doit être inférieur ou égal au seuil prédéfini (limiext).

Comme nous l'avons déjà vu, il n'est pas possible d'optimiser le rapport de deux variables endogènes. Aussi nous devons procéder successivement aux différents cas de figure.

### III.14 La positivité des variables

Certaines variables endogènes doivent être nécessairement positives, il faut donc contraindre la solution optimale dans ce sens. Ces variables sont :

- les surfaces à cultiver,
- les heures de la main-d'oeuvre permanente,
- les heures de main-d'oeuvre saisonnière,
- les heures de traction,
- les heures de supervision,
- les emprunts,
- les placements,
- la trésorerie
- les terres cédées ou reprises en location,
- les déviations par rapport au revenu minimal.
- les effectifs
- les achats d'aliments (céréales, cmv...)
- les ventes et les achats d'animaux

## **IV LA RECURSIVITE**

### IV.1 La SAU

La S.A.U. de l'année correspond au total des hectares cultivés en t :  $S.A.U._t = \sum X_{c,t}$

### IV.2 La location de terres

Les hectares supplémentaires en fermage de l'année s'ajoutent aux hectares supplémentaires des années antérieures pour permettre de calculer la charge totale de fermage :

$$\begin{aligned} INILARENT_t &= LANDRENT_t + INILARENT_{t-1} \\ FERMAGE_t &= INILARENT_t \cdot w_t \end{aligned}$$

avec

$INILARENT_t$  = hectares supplémentaires en fermage cumulés sur les années écoulées,

$LANDRENT_t$  = nouvelle surface louée au cours de la campagne,

$FERMAGES_t$  = charge locative du foncier (sans les terres initialement louées).

### IV.3 La trésorerie initiale

La trésorerie du début de l'année correspond à la trésorerie de la fin de l'année précédente majorée du montant de l'épargne annuelle.

### IV.4 Les effectifs animaux

Les effectifs de fin d'année sont repris comme effectifs de début de l'année suivante.

## V LE PROGRAMME :

### \* Modèle récursif monopériodique \* POLY CULTURE VIANDE LAIT DU HAUT PAYS D'ARTOIS

OPTION SOLPRINT=OFF  
OPTION LIMROW=0  
OPTION LIMCOL=0

#### SETS

ITER iterations  
/A1\*A8/  
IT(ITER)  
/A1\*A8/

\*\*\*\*\*donnees  
cultures\*\*\*\*

#### C CROPS

/FWHT,fora,forp,flax,SUGc,SUGB,POIS,FVSC,FRYE,Fclz,  
FCRN,GRAS,PAVL,PAEL,FPVL,FPVL/

scop(c)

/FWHT,fora,forp,POIS,FVSC,FRYE,FCLZ/

culv(c)

/FWHT,fora,forp,SUGc,SUGB,POIS,FVSC,FCLZ,FRYE,FL  
AX/

sf(c) surface fouragere

/GRAS,FCRN,PAVL,PAEL,FPVL,FPVL/

cnp(c) cultures non permanentes

/FWHT,fora,forp,pois,SUGc,SUGB,FVSC,FCLZ,frye,FCRN,  
GRAS,FLAX/

cper(c) cultures permanentes

/PAVL,PAEL,FPVL,FPVL/

WC(C) WINTER CEREALS

/FWHT,fora/

SC(C) spring cereals

/forp/

PR(C) proteagineux

/pois/

LEG(C) legumes

/SUGc,SUGB/

OL(C) oilseeds

/FCLZ/

T TECHNICS dry extensive dry intensive and irrigated

/T1\*t4/

S SOIL TYPES deep and shallow soils

/S1/

R 12 Mois

/M1\*M12/

N CLIMATIC SITUATIONS

/Y1\*Y5/

E SUBSIDIES SITUATIONS

/E1\*E2/

PS PRICES SITUATIONS

/PS1\*PS3/

PRIMES les deux types de prime

/pac,herbe/

#### I INPUTS

/SEEDING, nitrogen, phosphat,fumier/

#### A TILLAGE OPERATIONS

/herse,hersemr,FERTILIZ,PLANT,PLANTbet,plantms,gibro  
oy,SPRAYING,HARVEST,harvms,harvbet,  
rato,presse,fauche,buttage,MONOSOC,bioc,supervis,disquev,  
retourmt/

#### B(A) OPERATIONS NEEDING TRACTION

/FERTILIZ,PLANT,PLANTbet,plantms,gibrooy,SPRAYIN  
G,HARVEST,harvms,harvbet,  
rato,presse,fauche,herse,hersemr,buttage,MONOSOC,bioc,dis  
quev,retourmt/

#### M(A) OPERATIONS WITHOUT TRACTION

/supervis/

#### G in the CAP

/yess,NON/

CG(C,G)

/(FWHT,fora,forp,pois,FCLZ,FVSC,frye).YESS  
(FWHT,fora,forp,pois,SUGc,sugb,FCRN,PAVL,PAEL,FPVL  
,FPVL,fclz,FLAX).NON/

ALLAS(C,P);

PARAMETER HA(S,\*) soil availability per soil type and  
prev crop

/S1.FWHT 23.0

S1.fora 10.0

S1.sugb 9

S1.FCLZ 10

S1.FCRN 13

S1.PAVL 09

S1.PAEL 06

S1.FPVL 03

S1.FPEL 07/

\*\$INCLUDE SOIL.hpn

#### SCALARS

SAU /90/

quotabet en tonnes /610/

OR numbers of tractors /2/

H numbers of harvesters combine /1/

FL numbers of family workers /1/

PW numbers of permanent salaried workers /0.5/

PP prairies permanentes en hectares /25/

CABAT cout annuel du m2 construit /900/;

parameter tpsdis(r) nombre d heures par jours

/M1 10,M2 10,M3 10,M4 11,M5 11,M6 11,M7 12,M8

12,M9 12,

M10 12,M11 10,M12 10/;

parameter nbjdis(r) jours dispo par mois pour travail

/M1 26,M2 24,M3 25,M4 26,M5 24,M6 25,M7 24,M8

26,M9 25,

M10 26,M11 24,M12 25/;

SCALAR TIME percent of time for transport administration

etc

\* cas particulier avec des salaries permanents

/1/;

Parameter JO(R) hours available per month respect  
weather conditions

/M1 112,M2 120,M3 104,M4 112,M5 104,M6 136,M7 160,M8 144,M9 152,  
M10 136,M11 128,M12 128/;

**Parameter nbj(r)**

/M1 31,M2 28,M3 31,M4 30,M5 31,M6 30,M7 31,M8 31,M9 30, M10 31,M11 30,M12 31/;

**PARAMETER HO(R)** time availability of tractors per month;

HO(R)=OR\*JO(R);

**PARAMETER HH(R)** time availability of harvest equip per month;

HH(R)=H\*JO(R);

**PARAMETER HFL(r)** time availability of farm labour r month;

HFL(r)=tpsdis(r)\*nbjdis(r)\*fl+pw\*8\*nbj(r)\*5/7;

**TABLE YN(C,T,S,P,N)** crop yld per soil tech prec crop and year in qx per ha

SINCLUDE yield.new;

**parameter MH(C)** conversion Mat seche en mat humide

/FWHT 0.84,fora 0.84,forp 0.84,flax 0.90,SUGc 0.20,SUGB 0.20, POIS 0.84,FVSC 1,FRYE 1,FCLZ 0.88,FCRN 1,GRAS 1,PAVL 1,PAFL 1,FPVI 1,FPFL 1/;

**PARAMETER YNN(C,T,S,P,N);**

YNN(C,T,S,P,N)=YN(C,T,S,P,N)/Mh(C);

**PARAMETER Y(C,T,S,P)** CROP YIELDS PER SOIL TYPE PREC CROP AND TECHNIQUE qxha;

$Y(Cnp,T,S,P)=\sum(N \quad \$(ynn(cnp,t,s,p,n)) \quad ne$

$0), YNN(Cnp,T,S,P,N)/CARD(N))$

$-\sum(n\$(ynn(cnp,t,s,p,n) \quad eq \quad 0), YNN(Cnp,T,S,P,N)+1);$

$Y(Cper,T,S,P)=\sum(N, YNN(Cper,T,S,P,N)/CARD(N));$

**PARAMETER IP(I)** input prices

SINCLUDE INPut.hpa

;

**TABLE IQ(C,T,S,I,R)** quant inputs per crop technique and month

SINCLUDE treatme.hpn

**PARAMETER IC(C,T,S,I,R)** inputs costs per crop technique and month;

IC(C,T,S,I,R)=IQ(C,T,S,I,R)\*IP(I);

**TABLE AN(C,T,S,A,R)** number of tillage operations per month

SINCLUDE operati.hpn

;

**Parameter AH(A)** hours per tillage operations

SINCLUDE TILLHOUR.hpn

;

**Parameter AQ(C,T,S,A,R)** hours of tillage per month;

AQ(C,T,S,A,R)=AN(C,T,S,A,R)\*AH(A);

**PARAMETER AP(A)** tillage costs fuel repairs per hour of operatin

SINCLUDE TILLCOST.hpn

;

**PARAMETER AC(C,T,S,A,R)** tillage costs per hour;

AC(C,T,S,A,R)=AQ(C,T,S,A,R)\*AP(A);

**SCALARS**

HP harvest cost per hour /650/

TRACTP rental hour price for tractor /200/;

**PARAMETER HPL(R)** renting out price for harvester per hour and period

/M1\*M12 0/;

**PARAMETER TRACTPL(R)** price for renting out tractor per hour and period

/M1\*M12 0/

;

**parameter txgeln(iter)**

/A1 0,A2 0,A3 0.15,A4 0.15,A5 0.15,A6 0.15,A7 0.15,A8 0.15/;

**parameter txgel;**

**TABLE CPN(C,ITER)** crop prices per year

A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8

SUGB 170 170 170 170 170 170 170 170

SUGc 90 90 90 90 90 90 90 90

fora 102 102 90 79 70 70 70 70

forp 102 102 90 79 70 70 70 70

FWHT 111 111 100 90 84 84 84 84

FLAX -900 -900 -900 -900 -900 -900 -900 -900

fclz 225 100 100 100 100 100 100 100

POIS -900 -900 -900 -900 -900 -900 -900 -900

;

**TABLE psv(c,ps)**

PS1 PS2 PS3

fora 1.1 1.1 1.0

forp 1.0 1.0 1.0

FWHT 1.0 1.0 1.0

FCLZ 0.9 0.9 1.0

FLAX 1.0 1.0 1.0

SUGB 1.0 1.0 1.0

SUGc 1.0 1.0 1.0

POIS 0.99 1.0 1.0

;

**TABLE VAR(C,E)** percentage of subsidy expected

E1 E2

FWHT 0.8 1

Fora 0.80 1

Forp 1 1

FLAX 1 1

FCLZ 0.79 1

SUGB 1.0 1

SUGc 1.0 1

fvsc 1.0 1

FRYE 1.0 1

POIS 1.0 1

;

**SCALAR PHI** risk aversion coefficient

/0.10/;

**scalar lbdnit**

/0/;

**parameter perc(iter)**

/A1 1,A2 1.00,A3\*A8 1.00/;

**parameter txredei(iter)**

/A1 0,A2 0.00,A3\*A8 0.00/;

**parameter txrede;**

**parameter taxengri(iter)** enF par kg d engrais utilise

/A1 0.00,A2 0.0,A3\*A8 0/;

**parameter taxengr;**

**PARAMETER INISAVES(R)** initial financial availability

/M1 150000

M2\*M12 0/

**scalar INICRED** initial long term debt(non subsidised)

/550000/;

**parameter MINIM(R)** minimum income per month for family

/M1\*M12 15000/;

**scalars**

**FIXED** annual fixed costs for labor land machinery /300000/;

**autofi** annual fixed costs for labor land machinery /200000/;

**amorti** annual fixed costs for labor land machinery /150000/;  
**RENTP** land rent /0/;  
**RENTLP** land lease /33000/;

**PARAMETER CP(C)** prix moyen par an;

**PARAMETER CPS(C,PS)**;

**TABLE PRIMEN(C,G,T,ITER)** direct subsidy per crop  
**SINCLUDE PRIMEok2.hpn**

**PARAMETER PRIMEX(C,G,T,E,ITER)** subsidy expected;  
**PRIMEX(C,G,T,E,ITER)=PRIMEN(C,G,T,ITER)\*VAR(C,E)**;

\*include cross set for expected prices and subsidies

**PARAMETER PT(C,R)** month of subsidy paiement

/FWHT.M10 1  
 fora.m10 1  
 forp.m10 1  
 FCLZ.M10 1  
 frye.M10 1  
 FVSC.M10 1  
 pois.M10 1  
 /;

**parameter PRIME(C,G,T,E)**;

**parameter PRIMEA(C,G,T)**;

**table HT(C,T,S,R)** selling time per crop

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
FWHT.t1*t4.s1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Fora.t2*t4.s1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Forp.t2*t3.s1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
POIS.t3.s1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
FCLZ.t2*t4.s1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
FLAX.t3.s1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SUGB.t2*t3.s1	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
SUGc.t2*t3.s1	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLE PHYTO(C,T,R)**

**SINCLUDE PHYTO.hpn**

**PARAMETER O(C,T,S,R)** cost per crop;

**O(C,T,S,R)=sum(A.AC(C,T,S,A,R))+sum(L.IC(C,T,S,I,R))+PHYTO(C,T,R)**;

display phyto;

display y;

display primen;

display cpn;

display ht;

**SCALARS**

**PERMW** Permanent Labor cost per year laisser 0 pris en compte dans fixed /0/;

**SEASONW** Seasonnal Labor cost per hour /150/;

**RW** reservation wage for farm labour /0/;

**PARAMETER RWW(R)** wage received for renting out

farm labour

/M10 0/;

\*-----donnees

**financieres--**

**SCALARS**

**STR** short term loan interest rate (paid) /0.11/;

**STRR** short term loan interest rate (paid) when overdraft /0.20/;

**SBK** short term (perceived) interest rate /0.07/;

**SBK4** short term (perceived) interest rate /0.04/;

**maxsav4** maximum placement a 4 /300000/;

**LTR** long term loan interest rate (paid) /0.10/;

**MAXST** maximum amount of short term loan allowed per year /200000/;

**scalar INILARENT** initial land rented /0/;

**scalar INILLEASE** /0/;

\*-----nitrate-----

**TABLE PRKN(C,T,S,P,N)** Nitrate leaching per crop technique soil previous crop and year

**SINCLUDE prkn.csv**

**TABLE SSF(C,T,S,P,N)** Nitrate subsurface flow

**Sinclude ssfn.csv**

**TABLE YNO(C,T,S,P,N)** Nitrate runoff

**Sinclude yno.csv**

**TABLE PRKNSN(C,T,S,P,N)** Nitrate leaching per crop technique soil previous crop and year

**SINCLUDE prknsn.csv**

**TABLE SSFSN(C,T,S,P,N)** Nitrate subsurface flow

**Sinclude ssfnsn.csv**

**TABLE YNOSN(C,T,S,P,N)** Nitrate runoff

**Sinclude ynosn.csv**

**PARAMETER NITPRK(C,T,S,P)** Nitrate percolation per soil precedent et techniq;

**NITPRK(C,T,S,P)=sum(N,(PRKN(C,T,S,P,N)))/CARD(N)**;

**PARAMETER NITSSF(C,T,S,P)** NITRATE SUBSURF FLOW PER Sol, preced,techn;

**NITSSF(C,T,S,P)=sum(N,(SSF(C,T,S,P,N)))/CARD(N)**;

**PARAMETER NITYNO(C,T,S,P)** NITRATE RUNOFF PER SOIL TYPE PREC CROP TECHNIQUE;

**NITYNO(C,T,S,P)=sum(N,(YNO(C,T,S,P,N)))/CARD(N)**;

display nityno;

**PARAMETER NITTOT<sup>sn</sup>(C,T,S,P)** TOTAL NITRATE LOSS;

**NITTOT<sup>sn</sup>(C,T,S,P)=sum(n,PRKnsn(C,T,S,P,N)+SSFsn(C,T,S,P,n)+YNOsn(C,T,S,P,n))/card(n)**

**PARAMETER NITTOT(C,T,S,P)** TOTAL NITRATE LOSS;

**NITTOT(C,T,S,P)=NITPRK(C,T,S,P)+NITSSF(C,T,S,P)+NITYNO(C,T,S,P)**

**PARAMETER NITTOTS(C,T,P)** TOTAL NITRATE LOSS;

**NITTOTS(C,T,P)=SUM(S,NITPRK(C,T,S,P)+NITSSF(C,T,S,P)+NITYNO(C,T,S,P))**

display nittots;

**PARAMETER NITTOTN(C,T,S,P,N)** TOTAL NITRATE LOSS PER YEAR;

**NITTOTN(C,T,S,P,N)=PRKN(C,T,S,P,N)+SSF(C,T,S,P,N)+YNO(C,T,S,P,N)**;

\*SCALAR nitloss;

PARAMETER CT(C,S,T,P) total cost per crop;  
 CT(C,S,T,P)=SUM(R,O(C,T,S,R));

-----mb cultures-----  
 -----

PARAMETER MB1(C,G,S,T,P) Net revenue per crop  
 soil tech and prev crop;  
 MB1(C,G,S,T,P)=Y(C,T,S,P)\*CPN(C,'A1')\*SUM(R,HT(C,T,  
 S,R))  
 -  
 SUM(R,O(C,T,S,R))+PRIMEN(C,'YESS',T,'A1')+PRIMEN(  
 C,'NON',T,'A1');

DISPLAY MB1;

\*\*\*\*\*donnees elevage\*\*\*\*\*

sets

anxl animaux lait  
 /vl,vlg,vlm,gl1,gl2,ta,vea,veaf/  
 el(anxl)  
 /veaf,gl1,gl2/  
 anlait(anxl)  
 /vl,vlg,vlm,gl1,gl2,vea,veaf/  
 lait(anxl)  
 /vl,gl1,gl2/  
 viande(anxl)  
 /vlg,vlm,ta,vea/

pcc pulp conc cmv  
 /pul,con,cmv,soja,cerea,poud/

four

/mais,foin,patupvl,patuevl,patupel,patueel,ensi/

reg

/reg1,reg2,reg3,reg4/

;

scalars

txref /0.25/  
 txfecon /0.9/  
 bati /656/

parameter ctppcc(pcc)

/pul 0.50,con 1.22,cmv 3.00,soja 1.60,cerea 1.20,poud 9/;

parameter fraisdiv(anxl)

/vl 1500,gl2 630,ta 450/;

parameter quolaiti(itter)

/a1 170000,a2 170000,a3 170000,a4 170000,a5 170000,a6  
 170000,a7 170000,a8 170000/

parameter bbat(anxl)

/vl 10,gl1 4,gl2 6,ta 7,vea 0,veaf 4/;

PARAMETER ev(el)

/veaf 0.1,gl1 0.25,gl2 0.65/;

Table rdtreg(sf,T,reg)

\*liaison regime techniq et sf

	reg1	reg2	reg3	reg4
FCRN.T2	1	1	0	0
FCRN.T3	0	0	1	1
GRAS.T3	1	1	1	1
PAVL.T2	0	1	0	0
PAVL.T3	1	0	0	0
PAVL.T4	0	0	1	1
PAEL.T1	0	0	0	1
PAEL.T2	1	0	0	0
PAEL.T3	0	1	0	0
PAEL.T4	0	0	1	0
FPVL.T2	0	1	0	0

FPVL.T3	0	0	1	1
FPVL.T4	1	0	0	0
FPEL.T1	0	0	0	1
FPEL.T2	0	1	0	0
FPEL.T3	1	0	0	0
FPEL.T4	0	0	1	0

;

Table rdtfour(sf,T,four)

\* rendements en kg pour un hectare de sf (pr PATU exprime enhectare)

\* patup est toujours pature

\* sur patue : foin au printemps pature en ete

	MAIS	FOIN	ENSI	PATUPvl	PATUEvl	PATUPel	PATUEel
FCRN.T2	1	0	0	0	0	0	0
FCRN.T3	1	0	0	0	0	0	0
GRAS.T3	0	1	0	0	0	0	0
PAVL.T1	0	0	0	1	0	0	0
PAVL.T2	0	0	0	1	0	0	0
PAVL.T3	0	0	0	1	0	0	0
PAVL.T4	0	0	0	1	0	0	0
PAEL.T1	0	0	0	0	0	1	0
PAEL.T2	0	0	0	0	0	1	0
PAEL.T3	0	0	0	0	0	1	0
PAEL.T4	0	0	0	0	0	1	0
FPVL.T4	0	2000	4000	0	1	0	0
FPVL.T2	0	4000	0	0	1	0	0
FPVL.T3	0	4500	0	0	1	0	0
FPEL.T3	0	3000	0	0	0	0	1
FPEL.T4	0	4000	0	0	0	0	1
FPEL.T2	0	4000	0	0	0	0	1
FPEL.T1	0	4500	0	0	0	0	1

;

Table besvl(FOUR,reg)

\* besoins des vaches en four en kg (PATU en hectare)

	reg1	reg2	reg3	reg4
MAIS	2160	1440	2400	2490
PATUPvl	0.23	0.30	0.20	0.20
PATUEvl	0.15	0.20	0.06	0.06
FOIN	360	720	180	360

;

Table besgl(FOUR,reg)

\* a partir des equivalents vache cv

\* besoins des genisses en four en kg (PATU en hectare)

	reg1	reg2	reg3	reg4
MAIS	0	350	1000	0
PATUPel	0.30	0.30	0.25	0.30
PATUEel	0.15	0.20	0.09	0.30
FOIN	400	1060	710	1270
ENSI	1200	0	0	0

;

Table besta(FOUR,reg)

\* besoins des taur en four en kg (PATU en hectare)

	reg1	reg2	reg3	reg4
MAIS	2500	2500	2500	2500
FOIN	200	200	200	200

;

Table besvlg(FOUR,reg)

\* besoins des vlg en four en kg (PATU en hectare)

	reg1	reg2	reg3	reg4
MAIS	400	400	400	400
FOIN	250	250	250	250

;

PARAMETER LAITREG(reg)

/reg1 5500,reg2 5500,reg3 5700,reg4 5500/;

TABLE besppcc(anxl,pcc,reg)

	reg1	reg2	reg3	reg4
vl.pul	0	0	360	360
vl.con	800	900	900	1000
vl.cmv	50	50	50	50
ta.soja	600	600	600	600
ta.cmv	50	50	50	50
ta.cerea	150	150	150	150

```

vlg.con 100 100 100 100
vea.poud 50 50 50 50
GL2.cmv 50 50 50 50
gl2.soja 250 250 250 250
;

```

**table printai(anxl,r,iter)**

```

A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8
ta.m2 0 315 0 0 0 0 0
;

```

**TABLE PRIMpi(ANxl,R,iter)**

```

A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8
ta.m1 0 0 470 600 720 720 720 720
;

```

**table primhi(r,iter)**

```

A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8
m2 0 0 200 250 300 300 300 300
;

```

**table primexti(r,iter)**

```

A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8
m2 0 0 240 240 240 240 240 240
;

```

**parameter limipaci(iter)**

```

/a1 20,a2 20,a3 3,a4 2.5,a5 2,a6 2,a7 2,a8 2/

```

**parameter limiheri(iter)**

```

/a1 20,a2 20,a3 1,a4 1,a5 1,a6 1,a7 1,a8 1/

```

**parameter limiexti(iter)**

```

/a1 20,a2 20,a3 1.4,a4 1.4,a5 1.4,a6 1.4,a7 1.4,a8 1.4/

```

**parameter redep(iiter)**

```

/a1 0,a2 0,a3 1,a4 0,a5 0,a6 0,a7 0,a8 0/

```

**parameter primp(anxl,r);**

**parameter printa(anxl,r);**

**parameter primh(r);**

**parameter primext(r);**

**parameter limipac;**

**parameter limiher;**

**parameter limiext;**

**table ugb(anxl,primes)**

```

pac herbe
vl 1 1
gl1 0 0.6
gl2 0 0.6
ta 0.6 0.6

```

**parameter obpaci(iter)** variable fictive pour prime pac

```

/a1 1,a2 1,a3 1,a4 1,a5 1,a6 1,a7 1,a8 1/;

```

**parameter obexti(iter)** idem obpripac (prime extensification)

```

/a1 0,a2 0,a3 0,a4 0,a5 0,a6 0,a7 0,a8 0/;

```

**parameter obheri(iter)** idem obpripac (prime herbe)

```

/a1 0,a2 0,a3 0,a4 0,a5 0,a6 0,a7 0,a8 0/;

```

**parameter nb(anxl)**

```

/vl 30,gl2 15,gl1 14/;

```

**parameter pc(anxl)**

```

/vlm 313,vlg 360,gl2 1,ta 355,vea 1/;

```

**table pxvi(anxl,R,iter)**

```

a1 a2 a3 a4 a5 a6 a7 a8
vlg.m9 17.70 17.70 16.81 15.93 15.04 15.04 15.04 15.04
vlm.m6 17.70 17.70 16.81 15.93 15.04 15.04 15.04 15.04
gl2.m8 6068 6068 6068 6068 6068 6068 6068 6068
ta.m2 19.80 19.80 18.81 17.82 16.83 16.83 16.83 16.83
vea.m8 1054 1054 984 913 843 843 843 843

```

**table pxai(anxl,R,iter)**

```

a1 a2 a3 a4 a5 a6 a7 a8
vea.m8 1057 1054 984 913 843 843 843 843

```

**TABLE PSVA(anxl,PS)** Percentage of price expected for animals

```

PS1 PS2 PS3
vlg 1.00 1.00 1.00
vlm 1.00 1.00 1.00
ta 1.00 1.00 1.00
vea 1.00 1.00 1.00

```

**TABLE TPSTRXA(R,ANXL)** temps de travaux pour les animaux en h:jour

```

vl vlg veaf gl1 gl2 ta vea
m1*m4 0.15 0 0 0.03 0.03 0.03 0
m5*m7 0.15 0 0 0 0 0.03 0
m8*m10 0.15 0.03 0.03 0 0 0.03 0
m11*m12 0.15 0 0.03 0.03 0.03 0.03 0

```

**parameter pseabov(e)**

```

/E1 1,E2 1/;

```

**parameter pseaher(e)**

```

/E1 1,E2 1/;

```

**parameter pseact(e)**

```

/E1 1,E2 1/;

```

**parameter pxlaiti(iter)**

```

/a1 1.97,a2 1.97,a3 1.97,a4 1.97,a5 1.97,a6 1.97,a7 1.97,a8 1.97/;

```

**parameter pxv(anxl,r);**

**parameter pxvps(anxl,r,PS);**

**parameter pxa(anxl,r);**

**parameter pxaps(anxl,r,PS);**

**parameter txgel ;**

**parameter pxlait;**

**parameter quolait;**

**parameter obpac;**

**parameter obext;**

**parameter obher;**

**parameter costta;**

```

costta = sum(r,pxai('vea',r,'A1'))
+sum(pcc,bspcc('ta',pcc,'reg1')*ctpcc(pcc)
+CT('fcrn','S1','T1','FCRN')/4+fraisdiv('ta');

```

**parameter mbta;**

```

mbta = -costta+sum(r,pc('ta')*pxvi('ta',r,'A1'));

```

```

display costta;
display mbta;

```

**\*-----redevances-----**

**set**

```

pol

```

```

/MO,NR/;

```

**parameter ugbn(anxl)** conversion cheptel en ugbnitrate

```

/vl 1,vlg 1,vlm 1,gl1 0.6,gl2 0.8,ta 0.6,vea 0.1,veaf 0.3/;

```

**parameter qte(pol)** qte produit par 1 UGB

```

/MO 1.80,NR 0.2/;

```

**parameter red(pol)** base de redevance f par kg produit

```

/MO 148.27,NR 258.22/;

```

**parameter coefprmi(iter)** coef de prime a choisir

```

/A1*A8 0.48/;

```

```

*/A1*A3 0.64,A4 0.64, A5 0.72, A6 0.8, A7 0.81, A8 0.9/;

```

**parameter coefprim;**

```

*Attention classe 3 impossible si prime pac

```

```

*coefficient de prime

```

```

*recuperation des effluents tres bonne bonne moyenne

```

```

*epandage des effluents

```

```

* classe 1 0.9 0.81 0.72

```

```

* classe 2 0.8 0.72 0.64

```

```

* classe 3 0.6 0.54 0.48

```

parameter seuilred(iter)  
 /A1\*A4 0,A5 5262,A6 5660,A7 6026,A8 6400/;  
 parameter coefprgr(iter)  
 \*/A1\*A4 0,A5 0.4,A6 0.50,A7 0.56,A8 0.62/;  
 /a1\*A8 0/;

parameter seuilrd;  
 parameter coefprg;

\*\*\*\*\*resolution\*\*\*\*\*

VARIABLES

Z Total Net Income  
 impot impot sur benefice  
 \* revlait  
 \* revvia  
 ctsf  
 coubat  
 revcul  
 fix  
 revfi  
 X(C,G,S,T,P) hectares per crop soil,technique,previous  
 LANDRENT hectares of land rented  
 LANDLEASE  
 HFLT(R) farmlabor used(R) farmlabor used for  
 supervision or irrigation  
 HFH(R) farmlabor used for harvest  
 SEASONH(R) seasonal hired labor for super or irrigation  
 HFLL(R) farm labour hired OUT per period  
 TRACT(R) hours of machinery rented  
 TRACTL(R) hours of machinery rented out  
 HARV(R) hours of harvester rented per period  
 HARVL(R) hours of harvester rented out per period  
 DEV(N,E,PS) negative income deviations for all states of  
 nature  
 LBD  
 devnit(n)  
 devnat(n)  
 \* lbdnit  
 NITLOSS nitrate loss on all the farm  
 nitlon  
 NITLOSNI nitrate loss for each climatic type year  
 OPER operational costs per ha  
 SPEC specific costs per ha  
 eff(anxl,reg)  
 vareff  
 ven(anxl,reg)  
 ach(anxl,reg)  
 ctpcc  
 prt  
 ugbppac  
 ugbpac  
 ugbherbe  
 primebov(r)  
 prbovp(r)  
 diffugb  
 primeher(r)  
 primeext(r)  
 pribovrisk(r,e)  
 priherrisk(r,e)  
 priextrisk(r,e)  
 somempt(r)  
 somemptn(r)  
 somendr(r)  
 somendn(r)  
 somendrr(r)  
 sosave(r)  
 loan(r)  
 loann(r)  
 loanr(r)  
 loanrr(r)  
 intot(r)  
 debtover  
 save(r)

save4(r)  
 somsave(r)  
 intotp(r)  
 intotp4(r)  
 cashp(r)  
 cash(r)  
 abat  
 totugbn  
 rb  
 rn  
 rnp  
 seuilr  
 ;

POSITIVE VARIABLE  
 X,HARV,TRACT,LOAN,LOANN,HFLT,HFLL,HFH,  
 LANDLEASE,LANDRENT,SEASONH,DEV,abat,  
 OPER,INTOT,INTOTP,NITLOSS,NITLOSNI,LBD,  
 SPEC,LOANR,HFLL,TRACTL,HARVL,seasonh,  
 eff,ven,ach,pulpef,PRT,ugbpac,ugbherbe,prbovp,primebov,pri  
 meher,primeext  
 ,pribovrisk,priherrisk,priextrisk,somempt,somemptn,somend,s  
 omendr,  
 somendn,somendrr,sosave,loan,loann,loanr,loanrr,intot,debtov  
 er,  
 save,save4,  
 somsave,intotp,intotp4,cashp,cash,cttpcc;  
 HFH.UP(R)= HH(R);

EQUATIONS

INCOME Objective Fonction  
 eqimpot  
 \* eqrevia  
 \* eqrelait  
 eqsf  
 eqabat  
 eqcv  
 eqfix  
 eqfi  
 LAND(S,P) Land Constraint  
 LANDRLIMIT Constraint to rent that allows read  
 marginal land value  
 LANDLLIMIT Constraint to lease the whole surface to  
 avoidin fes  
 SETASIDE(S) set aside constraint  
 HARVEST(R)  
 TRACTOR(R)  
 FARMLAB(R)  
 STCREDIT annual loan limit  
 CASHFLOW(R) cash flow constraint per period  
 \* COLZA restrictions of rotations colza summer crops  
 eqcp(cper,cnp)  
 eqcnp(cper,cnp)  
 \* pdt  
 bett  
 \* colza  
 flax  
 pois  
 forp  
 RISK(N,E,PS) minimum income per year  
 LAMBDA deviations of the minimum income  
 risknit(n)  
 risknat(n)  
 \* nega(n)  
 lbdnitr  
 \* NITRAK measurement of nitrate LOSS  
 NITRAKSN(N) measurement of nit loss per climatic year  
 NITRAKN(N) measurement of nit loss per climatic year  
 OPERCOST  
 SPECCOST  
 JACHTOUR jachere tourmente  
 eqtrx(r)  
 effnbvl  
 effvl  
 effref  
 venrefm

venrefg  
 venvl(reg)  
 achvl(reg)  
 achvlm(reg)  
 achvlg(reg)  
 achgl2(reg)  
 effvea  
 effta  
 venta  
 effveaf  
 effgl1  
 effgl2  
 vengl2  
 besfour(four)  
 coutpcc  
 totugb  
 charpac  
 charext  
 tougb  
 charher  
 primbov(r)  
 primbovp(r)  
 verifpri  
 prbovrisk(r,e)  
 prherrisk(r,e)  
 prextrisk(r,e)  
 primher(r)  
 priext(r)  
 sph  
 \* eqsau  
 eqpp  
 LOANRE loan reimbursment  
 LOANRE loan reimbursment  
 rembourm(r)  
 rembourna(r)  
 TOTINT total interest paid  
 OVERDEBT overdraft debt at punitive interest rate  
 TOTINTP total interest received  
 eqsave4(r)  
 somemp(r)  
 somem1  
 somem2  
 somem3  
 somem4  
 somem5  
 somem6  
 somem7  
 somem8  
 somem9  
 somem10  
 somem11  
 somem12  
 somemr1  
 somemr2  
 somemr3  
 somemr4  
 somemr5  
 somemr6  
 somemr7  
 somemr8  
 somemr9  
 somemr10  
 somemr11  
 somemr12  
 somempn(r)  
 somemn1  
 somemn2  
 somemn3  
 somemn4  
 somemn5  
 somemn6  
 somemn7  
 somemn8  
 somemn9  
 somemn10  
 somemn11

somemn12  
 somemrn1  
 somemrn2  
 somemrn3  
 somemrn4  
 somemrn5  
 somemrn6  
 somemrn7  
 somemrn8  
 somemrn9  
 somemrn10  
 somemrn11  
 somemrn12  
 TOTINT(r)  
 OVERDEBT  
 sosavei1  
 sosavei2  
 sosavei3  
 sosavei4  
 sosavei5  
 sosavei6  
 sosavei7  
 sosavei8  
 sosavei9  
 sosavei10  
 sosavei11  
 sosavei12  
 somsav(r)  
 TOTINTP(r)  
 TOTINTP4(r)  
 cashdp1  
 cashdp2  
 cashdp3  
 cashdp4  
 cashdp5  
 cashdp6  
 cashdp7  
 cashdp8  
 cashdp9  
 cashdp10  
 cashdp11  
 cashdp12  
 eqbat  
 totugbnit  
 redbrut  
 rednet  
 redpay  
 limitrd  
 orge  
 \* mais  
 nonul(C,G,S,T,P)  
 PAVLT1(G,S,cper)  
 FPVLT1(G,S,cper)  
 ;  
**INCOME** .. sum(reg,eff('vl',reg) \*pxlait\*laitreg(reg))  
 + sum((anxl,r,reg),ven(anxl,reg)\*pc(anxl)\*pxv(anxl,r))  
 + sum(r,prbovp(r)+primeher(r)+primeext(r))  
 - sum((anxl,r,reg),ach(anxl,reg)\*pxa(anxl,r))  
 - cttpcc  
 - sum((anxl,reg),eff(anxl,reg)\*fraisdiv(anxl))  
 - cabat\*abat  
 +  
 SUM((C,G,S,T,P,R)\$CG(C,G),Y(C,T,S,P)\*CP(C)\*HT(C,T,  
 S,R)\*X(C,G,S,T,P))  
 -  
 sum((C,G,S,T,P,R)\$CG(C,G),O(C,T,S,R)\*X(C,G,S,T,P))  
 -(SUM(R,HFLT(R)+HFLS(R)+HFH(R))\*RW)  
 +  
 sum((C,S,T,P)\$CG(C,'yess'),PRIMEA(C,'yess',T)\*X(C,'yess',  
 S,T,P))  
 +  
 sum((C,S,T,P)\$CG(C,'NON'),PRIMEA(C,'NON',T)\*X(C,'N  
 ON',S,T,P))  
 -  
 (INILARENT+LANDRENT)\*RENTP+(INILALEASE+LA  
 NDLEASE)\*RENTLP

sum(R,(HARV(R)\*HP+SEASONH(R)\*SEASONW+TRAC  
T(R)\*TRACTP))  
+ sum(R,(HARVL(R)\*HPL(R)+HFL(L)\*RWW(R)  
+ TRACTL(R)\*TRACTPL(R)))  
- PERMW\*PW  
- (LTR/2\*INICRED+amorti+FIXED)  
- sum(r,intot(r))  
+ sum(r,intotp(r))  
+ sum(r,intotp4(r))  
- rmp  
- txrede\*nitloss  
- sum((c,t,s,r,g,p) \$Y(C,T,S,P) ne -  
5),iq(c,t,s,'nitrogen',r)  
\*X(C,G,S,T,P)\*taxengr)  
- PHI\*LBD=E= Z;

\*eqrelait .. sum(reg,eff('vl',reg) \*pxlait\*laitreg(reg))  
\*  
\*sum((anlait,r,reg),ven(anlait,reg)\*pc(anlait)\*pxv(anlait,r))  
\* - sum((reg,anlait,pcc),bespcc(anlait,pcc,reg)  
\* \*cff(anlait,reg)\*ctpcc(pcc))  
\* - sum((anlait,reg),(eff(anlait,reg)-ach('vea',reg))  
\* \*fraisdiv(anlait))  
\* =e= revlait;

\*eqrevia .. sum((r,reg),ven('ta',reg)\*pc('ta')\*pxv('ta',r))  
\* + sum(r,prbovp(r)+primeher(r)+primeext(r))  
\* - sum((r,reg),ach('vea',reg)\*pxa('vea',r))  
\* - sum((reg,pcc),bespcc('ta',pcc,reg)  
\* \*cff('ta',reg)\*ctpcc(pcc))  
\* - sum((reg),eff('ta',reg)\*fraisdiv('ta'))  
\* =e= revvia;

eqsf .. sum((Sf,G,S,T,P,R),O(Sf,T,S,R)\*X(Sf,G,S,T,P)) =e=  
ctsf;

eqabat .. cabat\*abat =e= coubat;

eqcv .. SUM((Culv,G,S,T,P,R)\$CG(Culv,G),Y(Culv,T,S,P)  
\*CP(Culv)\*HT(Culv,T,S,R)\*X(Culv,G,S,T,P))

sum((Culv,G,S,T,P,R)\$CG(Culv,G),O(Culv,T,S,R)\*X(Culv,  
G,S,T,P))  
- (SUM(R,HFLT(R)+HFLS(R)+HFH(R))\*RW)

+ sum((Culv,S,T,P)\$CG(Culv,'yess'),PRIMEA(Culv,'yess',T)  
\*X(Culv,'yess',S,T,P))

+ sum((Culv,S,T,P)\$CG(Culv,'NON'),PRIMEA(Culv,'NON',T)  
\*X(Culv,'NON',S,T,P))

(INILARENT+LANDRENT)\*RENTP+(INILALEASE+LA  
NDLEASE)\*RENTLP  
- sum(R,(HARV(R)\*HP+TRACT(R)\*TRACTP))  
+ sum(R,(HARVL(R)\*HPL(R)+HFL(L)\*RWW(R)  
+ TRACTL(R)\*TRACTPL(R))) =e= revcul;

eqfix .. sum(R,SEASONH(R)\*SEASONW)  
+ PERMW\*PW  
+ (LTR/2\*INICRED+FIXED) =e= fix;

eqfi .. sum(r,intotp(r))  
+ sum(r,intotp4(r))  
- sum(r,intot(r)) =e= revfi;

eqimpot .. impot =e= 0.00\*z;

LAND(S,P) .. SUM((C,G,T),X(C,G,S,T,P))  
=e= HA(S,P)\*(1+(LANDRENT-  
LANDLEASE)/SAU);

LANDRLIMIT .. LANDRENT =L=0;

LANDLLIMIT .. LANDLEASE =L= SAU\*0.00;

**SETASIDE(S)**

TXGEL\*SUM((sCop,T,P)\$CG(sCop,'YESS'),X(sCop,'YESS',  
S,T,P))

- (SUM((T,P),X('FVSC','YESS',S,T,P))  
+ sUM((T,P),X('Iryc','YESS',S,T,P))) =E= 0;

nonul(c,G,S,T,P) ..X(c,G,S,T,P)\*Y(c,T,S,P) =g= 0.00;

orge .. sum((G,S,T,P),X('Fora',G,S,T,P)) =L= SAU\*0.075;

flax .. sum((G,S,T,P),X('Flax',G,S,T,P)) =e= SAU\*0;

pois .. sum((G,S,T,P),X('pois',G,S,T,P)) =e= (SAU-PP)\*0;

forp .. sum((G,S,T,P),X('Forp',G,S,T,P)) =e= SAU\*0;

EQCP(cper,cnp) .. sum((G,S,T),X(cper,G,S,T,cnp)) =e= 0;

eqcnp(cper,cnp) .. sum((G,S,T),X(cnp,G,S,T,cper)) =e= 0;

PAVLT1(G,S,cper) .. X('PAVL',G,S,'T1',cper) =e=0;

FPVLT1(G,S,cper) .. X('FPVL',G,S,'T1',cper) =e=0;

bett .. sum((g,s,t,p),x('sugb',g,s,t,p)\*Y('sugb',T,S,P)) =e=  
quotabet;

JACHTOUR .. sum((G,S,T,P),X('FVSC',G,S,T,'FVSC'))  
+ X('FRYE',G,S,T,'FVSC')  
+ X('FVSC',G,S,T,'FRYE')  
+ X('FRYE',G,S,T,'FRYE')) =L= 0;

**HARVEST(R)**

Sum((C,G,T,P,S)\$CG(C,G),AQ(C,T,S,'HARVEST',R)\*  
X(C,G,S,T,P)\*TIME)  
=L= HFH(R)+HARV(R)-HARVI(R);

**TRACTOR(R)**

SUM((C,G,T,P,B,S)\$CG(C,G),AQ(C,T,S,B,R)\*X(C,G,S,T,P)  
)\*TIME)  
=L= HFLT(R)+TRACT(R)-TRACTL(R);

**FARMLAB(R)**

HFLT(R)+HFLS(R)+HFH(R)=L=HFL(R)-HFL(L(R));

**EQTRX(R)**

SUM(ANXL,TPSTRXA(r,ANXL)\*sum(reg,eff(ANXL,reg))  
\*nbj(R))  
=L= HFLS(R)+seasonh(R)-HFL(L(R))

SUM((c,g,p,t,m,s),aq(c,t,s,m,R)\*X(C,G,S,T,P)\*time);

**STCREDIT ..**

sum(R,LOAN(R)) =L= MAXST;

**CASHFLOW(R)**

sum(reg,eff('vl',reg)\*pxlait\*laitreg(reg))\*1/12  
+  
sum((anxl,reg),ven(anxl,reg)\*pc(anxl)\*pxv(anxl,r))  
+ prbovp(r)+primeher(r)+primeext(r)  
- sum((anxl,reg),ach(anxl,reg)\*pxa(anxl,r))  
- ctpcc\*1/12  
- sum((anxl,reg),eff(anxl,reg)\*fraisdiv(anxl))\*1/12  
- cabat\*abat\*1/12

+  
sum((C,G,S,T,P)\$CG(C,G),Y(C,T,S,P)\*CP(C)\*HT(C,T,S,R)  
\*X(C,G,S,T,P))  
+  
sum((C,S,T,P)\$CG(C,'yess'),PRIMEA(C,'yess',T)\*PT(C,R)\*  
X(C,'yess',S,T,P))  
+  
sum((C,S,T,P)\$CG(C,'NON'),PRIMEA(C,'NON',T)\*PT(C,R)  
\*X(C,'NON',S,T,P))

\*+++++SALES RECEIPTS + SUBSIDIES  
PER MONTH

-  
sum((C,G,S,T,P)\$CG(C,G),O(C,T,S,R)\*X(C,G,S,T,P))  
- HARV(R)\*HP-SEASONH(R)\*SEASONW-  
TRACT(R)\*TRACTP  
+ HARVL(R)\*HPL(R)  
+  
HFL(L)\*RWW(R)+TRACTL(R)\*TRACTPL(R)

\*+++++MONTHLY COSTS MONTHLY RECEIPTS  
FROM RENTING OUT

- PERMW\*PW/CARD(R)  
- (INILARENT+LANDRENT)\*RENTP/CARD(R)

+  
 (INILALEASE+LANDLEASE)\*RENTLP/CARD(R)  
 - (LTR/2\*INICRED+FIXED)/CARD(R)  
 - autofi/card(r)  
 \* ANNUAL COSTS DIVIDED PER MONTH  
 + intotp(r)+intotp4(r)-intot(r)  
 + LOAN(r)+LOANN(r)-LOANR(r)-LOANRr(r)  
 \* LOANS, SAVINGS, LOANS REIMBURSEMENT AND  
 INTEREST PAID FOR LOANS  
 - rnp/12  
 - (txrede\*nitloss)/12  
 - sum((c,t,s,g,p) \$(Y(C,T,S,P) ne -  
 5),iq(c,t,s,nitrogen',r)\*X(C,G,S,T,P)\*taxengr  
 + CASHp(r)-SAVE(r)-SAVE4(r)+INISAVES(r)-  
 MINIM(r)  
 =e= CASH(r);

\*+++++RESIDUAL CASH ALWAYS  
 AVAILABLE, REMUNERATED SAVINGS,  
 \*+++++INITIAL CASH AVAILABILITY  
 AN MINIMUM MONTH INCOME

LOANRE.. SUM(R,LOAN(R)-LOANR(R)) =L= EPS;  
 LOANrRE.. SUM(R,LOANN(R)-LOANrR(R)) =L= EPS;

\*remboursement<emprunt  
 rebourn(r) .. loanr(r) =l= somempt(r);  
 rebournn(r) .. loanrr(r) =l= somemptn(r);

eqsave4(r) .. save4(r) =l= maxsav4;  
 somemp(r) .. somempt(r) =e= loan(r)+somend(r)-  
 somendr(r);

somem1 .. somend('m1') =e= 0;  
 somem2 .. somend('m2') =e= somempt('m1');  
 somem3 .. somend('m3') =e= somempt('m2');  
 somem4 .. somend('m4') =e= somempt('m3');  
 somem5 .. somend('m5') =e= somempt('m4');  
 somem6 .. somend('m6') =e= somempt('m5');  
 somem7 .. somend('m7') =e= somempt('m6');  
 somem8 .. somend('m8') =e= somempt('m7');  
 somem9 .. somend('m9') =e= somempt('m8');  
 somem10.. somend('m10') =e= somempt('m9');  
 somem11.. somend('m11') =e= somempt('m10');  
 somem12.. somend('m12') =e= somempt('m11');

somemr1 .. somendr('m1') =e= 0;  
 somemr2 .. somendr('m2') =e= loanr('m1');  
 somemr3 .. somendr('m3') =e= loanr('m2');  
 somemr4 .. somendr('m4') =e= loanr('m3');  
 somemr5 .. somendr('m5') =e= loanr('m4');  
 somemr6 .. somendr('m6') =e= loanr('m5');  
 somemr7 .. somendr('m7') =e= loanr('m6');  
 somemr8 .. somendr('m8') =e= loanr('m7');  
 somemr9 .. somendr('m9') =e= loanr('m8');  
 somemr10.. somendr('m10') =e= loanr('m9');  
 somemr11.. somendr('m11') =e= loanr('m10');  
 somemr12.. somendr('m12') =e= loanr('m11');

somempn(r) .. somemptn(r) =e= loann(r)+somendn(r)-  
 somendrn(r);

somemn1 .. somendn('m1') =e= 0;  
 somemn2 .. somendn('m2') =e= somemptn('m1');  
 somemn3 .. somendn('m3') =e= somemptn('m2');  
 somemn4 .. somendn('m4') =e= somemptn('m3');  
 somemn5 .. somendn('m5') =e= somemptn('m4');  
 somemn6 .. somendn('m6') =e= somemptn('m5');  
 somemn7 .. somendn('m7') =e= somemptn('m6');  
 somemn8 .. somendn('m8') =e= somemptn('m7');  
 somemn9 .. somendn('m9') =e= somemptn('m8');  
 somemn10.. somendn('m10') =e= somemptn('m9');  
 somemn11.. somendn('m11') =e= somemptn('m10');  
 somemn12.. somendn('m12') =e= somemptn('m11');

somemrn1 .. somendrr('m1') =e= 0;  
 somemrn2 .. somendrr('m2') =e= loanrr('m1');  
 somemrn3 .. somendrr('m3') =e= loanrr('m2');  
 somemrn4 .. somendrr('m4') =e= loanrr('m3');  
 somemrn5 .. somendrr('m5') =e= loanrr('m4');  
 somemrn6 .. somendrr('m6') =e= loanrr('m5');  
 somemrn7 .. somendrr('m7') =e= loanrr('m6');  
 somemrn8 .. somendrr('m8') =e= loanrr('m7');  
 somemrn9 .. somendrr('m9') =e= loanrr('m8');  
 somemrn10.. somendrr('m10') =e= loanrr('m9');  
 somemrn11.. somendrr('m11') =e= loanrr('m10');  
 somemrn12.. somendrr('m12') =e= loanrr('m11');

\* interets payes par riode  
 TOTINT(r) .. somempt(r)\*STR\*nbj(r)/365  
 + somemptn(r)\*STRR\*nbj(r)/365  
 =E= INTOT(r);

OVERDEBT .. SUM(r,LOANN(r)) =E= DEBTOVER;

sosavei1 .. sosave('m1') =e= 0;  
 sosavei2 .. sosave('m2') =e= somsave('m1');  
 sosavei3 .. sosave('m3') =e= somsave('m2');  
 sosavei4 .. sosave('m4') =e= somsave('m3');  
 sosavei5 .. sosave('m5') =e= somsave('m4');  
 sosavei6 .. sosave('m6') =e= somsave('m5');  
 sosavei7 .. sosave('m7') =e= somsave('m6');  
 sosavei8 .. sosave('m8') =e= somsave('m7');  
 sosavei9 .. sosave('m9') =e= somsave('m8');  
 sosavei10.. sosave('m10') =e= somsave('m9');  
 sosavei11.. sosave('m11') =e= somsave('m10');  
 sosavei12.. sosave('m12') =e= somsave('m11');

\* somme cumulee des placements  
 somsav(r) .. somsave(r) =e= save(r)+sosave(r);

\* interets recus par riode  
 TOTINTP(r) .. somSAVE(r)\*SBK  
 \*nbj(r)/365 =E= INTOTP(r);  
 totintp4(r) .. intotp4(r) =e= save4(r)\*sbk4\*nbj(r)/365;

cashdp1 .. cashp('m1') =e= 0;  
 cashdp2 .. cashp('m2') =e= cash('m1')+save4('m1');  
 cashdp3 .. cashp('m3') =e= cash('m2')+save4('m2');  
 cashdp4 .. cashp('m4') =e= cash('m3')+save4('m3');  
 cashdp5 .. cashp('m5') =e= cash('m4')+save4('m4');  
 cashdp6 .. cashp('m6') =e= cash('m5')+save4('m5');  
 cashdp7 .. cashp('m7') =e= cash('m6')+save4('m6');  
 cashdp8 .. cashp('m8') =e= cash('m7')+save4('m7');  
 cashdp9 .. cashp('m9') =e= cash('m8')+save4('m8');  
 cashdp10.. cashp('m10') =e= cash('m9')+save4('m9');  
 cashdp11.. cashp('m11') =e= cash('m10')+save4('m10');  
 cashdp12.. cashp('m12') =e= cash('m11')+save4('m11');

OPERCOST ..  
 sum((C,G,T,S,P,I,R),IC(C,T,S,I,R)\*X(C,G,S,T,P))/SAU =E= OPER;  
 SPECCOST ..  
 sum((C,G,T,S,P,A,R),AC(C,T,S,A,R)\*X(C,G,S,T,P))/SAU  
 =E= SPEC;

RISK(N,E,PS) .. sum(reg,eff('v',reg) \*pxlait\*laitreg(reg))  
 +  
 sum((anxl,r,reg),ven(anxl,reg)\*pc(anxl)\*pxvps(anxl,r,ps))  
 +  
 sum(r,pribovrisk(r,e)+priherrisk(r,e)+priextrisk(r,e))  
 - sum((anxl,r,reg),ach(anxl,reg)\*pxaps(anxl,r,ps))  
 - cttppc  
 - sum((anxl,reg),eff(anxl,reg)\*fraisdiv(anxl))  
 - cabat\*abat

$$\text{SUM}((C,G,S,T,P,R)\$CG(C,G),YN(C,T,S,P,N)*CPS(C,PS)*HT(C,T,S,R)*X(C,G,S,T,P))$$

$$\text{sum}((C,G,S,T,P,R)\$CG(C,G),O(C,T,S,R)*X(C,G,S,T,P))$$

$$\text{sum}((C,S,T,P)\$CG(C,'yess'),PRIME(C,'yess',T,E)*X(C,'yess',S,T,P))$$

$$\text{sum}((C,S,T,P)\$CG(C,'NON'),PRIME(C,'NON',T,E)*X(C,'NON',S,T,P))$$

$$-(INILARENT+LANDRENT)*RENTP$$

$$+(INILALEASE+LANDLEASE)*RENTLP$$

$$\text{sum}(R,(HARVL(R)*HPL(R)+HFL(L)*RWW(R)+TRACTL(R)*TRACTPL(R)))$$

$$\text{sum}(R,(HARV(R)*HP+SEASONH(R)*SEASONNW+TRACT(R)*TRACTP))$$

$$-(\text{SUM}(R,HFLT(R)+HFLS(R)+HFH(R))*RW)$$

$$-PERMW*PW$$

$$-\text{sum}(r,intot(r))$$

$$+\text{sum}(r,intotp(r))$$

$$+\text{sum}(r,intotp4(r))$$

$$-rnp$$

$$-txrede*nitloss$$

$$-\text{sum}((c,t,s,r,g,p) \quad S(Y(C,T,S,P) \quad ne \quad - \quad 5),iq(c,t,s,'nitrogen',r)*X(C,G,S,T,P)*taxengr)$$

$$-(1tr/2*INICRED+amorti+FIXED)+DEV(N,E,PS)$$

$$=g= Z+\phi+1bd;$$
**LAMBDA** ..  $\text{SUM}((N,E,PS),DEV(N,E,PS)) =L= LBD;$ 
**NITRAKN(N)**.. $\text{SUM}((C,G,T,S,P),NITTOTN(C,T,S,P,'Y5')*X(C,G,S,T,P))=E= NITLOS;$ 
**NITRAKSN(N)**.. $\text{SUM}((C,G,T,S,P),NITTOTsN(C,T,S,P)*X(C,G,S,T,P))=E= NITLoN;$ 
**effnbvl**..  $\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vl',\text{reg}))-\text{nb}('vl')=e=\text{vareff};$ 
**effvl** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vl',\text{reg})*\text{laitreg}(\text{reg})) =e=\text{quolait};$ 
**effref** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vlm',\text{reg}))+\text{eff}('vlg',\text{reg}))=e=\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vl',\text{reg}))*\text{txref};$ 
**venrefm** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{ven}('vlm',\text{reg})) =|= \text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vlm',\text{reg}));$ 
**venrefg** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{ven}('vlg',\text{reg})) =|= \text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vlg',\text{reg}));$ 
**effvea** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vl',\text{reg}))*\text{txfecon}*0.5-\text{ven}('vea',\text{reg}))+\text{ach}('vea',\text{reg})) =e= \text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vea',\text{reg}));$ 
**effta** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vea',\text{reg})) =e= \text{sum}(\text{reg},\text{eff}('ta',\text{reg}));$ 
**venta** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{ven}('ta',\text{reg})) =e= \text{sum}(\text{reg},\text{eff}('ta',\text{reg}));$ 
**effveaf**..  $\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('veaf',\text{reg})) =e= \text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vl',\text{reg}))*\text{txfecon}*0.5;$ 
**effgl1** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('gl1',\text{reg})) =e= \text{nb}('gl1');$ 
**effgl2** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{eff}('gl2',\text{reg})) =e= \text{nb}('gl2');$ 
**vengl2** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{ven}('gl2',\text{reg})) =e= \text{sum}(\text{reg},\text{eff}('gl2',\text{reg}))- \text{sum}(\text{reg},\text{eff}('vlm',\text{reg}))+\text{eff}('vlg',\text{reg}))- \text{vareff};$ 
**venvl(reg)** ..  $\text{ven}('vl',\text{reg}) =e= 0;$ 
**achvl(reg)** ..  $\text{ach}('vl',\text{reg}) =e= 0;$ 
**achvlm(reg)** ..  $\text{ach}('vlm',\text{reg}) =e= 0;$ 
**achvlg(reg)** ..  $\text{ach}('vlg',\text{reg}) =e= 0;$ 
**achgl2(reg)** ..  $\text{ach}('gl2',\text{reg}) =e= 0;$ 
**besfour(four)** ..  $\text{sum}(\text{reg},\text{besvl}(\text{four},\text{reg}))*\text{eff}('vl',\text{reg})) + \text{sum}((\text{reg},el),\text{besgl}(\text{four},\text{reg}))*\text{eff}(el,\text{reg})*\text{ev}(el)) + \text{sum}(\text{reg},\text{besta}(\text{four},\text{reg}))*\text{eff}('ta',\text{reg})) + \text{sum}(\text{reg},\text{besvlg}(\text{four},\text{reg}))*\text{eff}('vlg',\text{reg})) =|=$ 

$$\text{sum}((T, sf, S, G, P), \text{rdtfour}(sf, T, four)*X(Sf, G, S, T, P)*Y(sf, T, S, P));$$
**coutpcc** ..  $\text{sum}((\text{reg}, \text{anxl}, \text{pcc}), \text{bespcc}(\text{anxl}, \text{pcc}, \text{reg}))*\text{eff}(\text{anxl}, \text{reg})*\text{ctpcc}(\text{pcc})) =e= \text{ctpcc};$

**\*batiment**  
**eqbat** ..  $\text{sum}((\text{anxl}, \text{reg}), \text{eff}(\text{anxl}, \text{reg}))*\text{bbat}(\text{anxl})) =e= \text{bati}+\text{abat};$ 
  
**\*total des UGB PAC**  
**totugb** ..  $\text{sum}((\text{anxl}, \text{reg}), \text{eff}(\text{anxl}, \text{reg}))*\text{ugb}(\text{anxl}, \text{pac}')) =e= \text{sum}((\text{anxl}, \text{reg}), \text{eff}(\text{anxl}, \text{reg}))*\text{ugb}(\text{anxl}, \text{pac}'));$ 
**charpac** ..  $\text{limipac}*\text{SUM}((SF, g, s, t, p), X(SF, g, s, t, p)) - \text{sum}((\text{lait}, \text{reg}), \text{eff}(\text{lait}, \text{reg}))*\text{ugb}(\text{lait}, \text{pac}')) =e= \text{ugbprpac};$ 
  
**charext** ..  $\text{limiext}*\text{SUM}((SF, g, s, t, p), X(SF, g, s, t, p)) =g= \text{ugbpac}*\text{obext};$ 
  
**\*total des UGB HERBE**  
**toug** ..  $\text{sum}((\text{anxl}, \text{reg}), \text{eff}(\text{anxl}, \text{reg}))*\text{ugb}(\text{anxl}, \text{herbe}')) =e= \text{sum}((\text{anxl}, \text{reg}), \text{eff}(\text{anxl}, \text{reg}))*\text{ugb}(\text{anxl}, \text{herbe}'));$ 
**charher** ..  $\text{limiher}*\text{SUM}((SF, g, s, t, p), X(SF, g, s, t, p)) =g= \text{ugbherbe}*\text{obher};$ 
  
**\*prime bovins males**  
**primbov(r)** ..  $\text{primebov}(r) =e= \text{ugbprpac}*\text{primp}('ta', r)*\text{obpac} + \text{sum}(\text{reg}, \text{primita}('ta', r))*\text{eff}('ta', \text{reg}));$ 
**\*prendre la valeur 0 dans obpaci(iter) si ugbrpac est negatif**
  
**primbovp(r)**..  $\text{prbovp}(r) =e= \text{sum}(\text{reg}, \text{eff}('ta', \text{reg}))*(\text{primp}('ta', r)+\text{primita}('ta', r));$ 
  
**\* prbovp equation 2**  
**\*primbovp(r)**..  $\text{prbovp}(r) =e= \text{ugbprpac}/0.6*(\text{primp}('ta', r)+\text{primita}('ta', r));$ 
  
**verifpri** ..  $\text{diffugb} =e= \text{ugbprpac} - \text{sum}(\text{reg}, \text{eff}('ta', \text{reg}))*0.6);$ 
**\* verifier diffugb positif sinon prendre prbovp equation 2**
  
**prbovrisk(r,e)** ..  $\text{prbovrisk}(r,e) =e= \text{prbovp}(r)*\text{pseabov}(e);$ 
**prherrisk(r,e)** ..  $\text{prherrisk}(r,e) =e= \text{primeher}(r)*\text{pseaher}(e);$ 
**prextrisk(r,e)** ..  $\text{priextrisk}(r,e) =e= \text{primeext}(r)*\text{pseaxt}(e);$ 
  
**sph** ..  $\text{SUM}((SF, g, s, t, p), X(sf, g, S, T, p)) - \text{PP} - \text{SUM}((g, s, t, p), X('FCRN', g, s, t, p)) - \text{PRT} =|= \text{eps};$ 
  
**eqpp** ..  $\text{SUM}((cper, g, s, t, p), X(cper, g, S, T, p)) =e= \text{pp};$ 
**\*eqsau** ..  $\text{SUM}((c, g, s, t, p), X(c, g, S, T, p)) =e= \text{sau};$ 
  
**\*prime herbe**  
**primher(r)** ..  $\text{primeher}(r) =e= (\text{pp}+\text{prt})*\text{primh}(r)*\text{obher};$ 
  
**\*prime extensification**  
**priext(r)** ..  $\text{primeext}(r) =e= \text{sum}(\text{reg}, \text{eff}('ta', \text{reg}))*\text{obext}*\text{primext}(r);$ 
  
**\*total des UGB nitrate**  
**totugbnit**..  $\text{totugbn} =e= \text{sum}((\text{anxl}, \text{reg}), \text{ugbn}(\text{anxl}))*\text{eff}(\text{anxl}, \text{reg}));$ 
  
**\* montant de la redevance brute**  
**redbrut**..  $\text{rb} =e= \text{sum}(\text{pol}, \text{totugbn})*\text{qte}(\text{pol})*\text{red}(\text{pol});$ 
  
**\*montant de la redevance nette**  
**rednet**..  $\text{rn} =e= \text{rb}*(1-\text{coefprim});$ 
  
**\*redevance nette a payer**  
**redpay**..  $\text{rnp} =e= (\text{rn}*\text{coefprg});$ 
**\*redpay**..  $\text{rnp} =e= (\text{rn}*\text{coefprg})*(\text{rn}-\text{seuilrd} \text{ gt } 0);$ 
  
**limitrd**..  $\text{seuilr} =e= (\text{rn}-\text{seuilrd});$ 
  
**model polen1 /ALL/**  
**Parameter CROPATS1(\*,\*,\*,\*,\*);**  
**OPTION CROPATS1:2:4:1;**

```

Parameter RESULT2(*,*,*,*);
OPTION RESULT2:2:3:1;
Parameter PERTENIT(*,*,*,*);
OPTION PERTENIT:2:3:1;
Parameter RESULT3(*,*,*,*);
OPTION RESULT3:2:3:1;
Parameter STRESA(*,*,*,*);
OPTION STRESA:2:3:1;
Parameter LILLE(*,*,*,*);
OPTION LILLE:2:3:1;
Parameter COUCOU1(*,*,*);
OPTION COUCOU1:2:2:1;
Parameter appazot(*,*,*);
OPTION appazot:2:2:1;
Parameter fumier(*,*,*);
OPTION fumier:2:2:1;
Parameter totalazo(*,*,*);
OPTION totalazo:2:2:1;
Parameter COUCOU2(*,*,*,*);
OPTION COUCOU2:2:3:1;
Parameter RESULT4(*,*,*,*);
OPTION RESULT4:2:2:1;
Parameter REVENU(*,*,*);
OPTION REVENU:2:2:1;
file res /3nit0.csv;
put res;
put "Maquette polyculture lait Haut Pays Artois - Resultats/"
put "          1991      1992      1993      1994
1995"/

```

```
LOOP(IT,
```

```

* NITLOSS=perc(it)*SAU*NITLOSSN(IT);
txrede=txredei(it);
taxengr=taxengri(it);
CP(C)=CPN(C,IT);
CPS(C,PS)=CP(C)*PSV(C,PS);
PRIME(C,G,T,E)=PRIMEX(C,G,T,E,IT);
PRIMEA(C,G,T)=PRIMEN(C,G,T,IT);
pxv(anx1,r)=pxvi(anx1,r,it);
pxvps(anx1,r,PS)=pxv(anx1,r)*PSVa(anx1,PS);
pxa(anx1,r)=pxai(anx1,r,it);
pxaps(anx1,r,PS)=pxa(anx1,r)*PSVa(anx1,PS);
txgel =txgeln(it);
pxlait=pxlaiti(it);
quolait=quolaiti(it);
primp(ANx1,R)=PRIMpi(ANx1,R,it);
primta(ANx1,R)=Primtai(ANx1,R,it);
primh(r)=primhi(r,it);
primext(r)=primexti(r,it);
limipac=limipaci(it);
limiher=limiheri(it);
limiext=limiexti(it);
obpac=obpaci(it);
obher=obheri(it);
obext=obexti(it);
coefprg=coefprgr(it);
seuilrd=seuilred(it);
coefprim=coefprimi(it)

```

```

SOLVE polen1 USING nlp MAXIMIZING Z;
SOLVE polen1 USING nlp MAXIMIZING Z;
* SOLVE polen1 USING nlp MinIMIZING nitloss;
* SOLVE polen1 USING nlp MinIMIZING nitloss;

```

```

coucou1(anx1,'achats',it)=sum(reg,ACHL(anx1,reg));
coucou1(anx1,'ventes',it)= sum(reg,VENL(anx1,reg));
coucou2(anx1,'effectifs',reg,it)= eff.L(anx1,reg);
display coucou1;
display coucou2;

```

```

result4('ugbnitra','ugb',it)=totugbn.l;
result4('redevbrut','ugb',it)=rb.l;
result4('redevnet','ugb',it)=rn.l;
result4('verifi +','rn-seuil',it)=seuilr.l;
result4('redevpay','ugb',it)=rnp.l;

```

```
result4('ugbprpac','ugb',it)=ugbprpac.l;
```

```

result4('VERIFIER','UGBprPAC+',it)=ugbprpac.l;
result4('nbugbext','ugb',it)=limiext*SUM((SF,g,s,t,p),X.L(SF,g,s,t,p));
result4('nbugbpac','ugb',it)=limipac*SUM((SF,g,s,t,p),X.L(SF,g,s,t,p));
result4('nbugbher','ugb',it)=limiher*SUM((SF,g,s,t,p),X.L(SF,g,s,t,p));
result4('ugbpac','ugb',it)=ugbpac.l;
result4('ugbherb','ugb',it)=ugbherbe.l;
result4('primebov','ugb',it)=sum(r,primebov.l(r));
result4('diffugb','ugb',it)=diffugb.l;
result4('VERIFIER','diffugb+',it)=diffugb.l;
result4('pribovp','ugb',it)=sum(r,prbovp.l(r));
result4('sf','ha',it)=SUM((SF,g,s,t,p),X.L(SF,g,s,t,p));
result4('bati','m2',it)=bati;
result4('abati','m2',it)=abat.L;

```

```

*revenu('revlait','F',it)=revlait.l;
*revenu('revvia','F',it)=revvia.l;
revenu('ctsf','F',it)=ctsf.l;
revenu('coubat','F',it)=coubat.l;
revenu('revcul','F',it)=revcul.l;
revenu('fix','F',it)=fix.l;
revenu('revfi','F',it)=revfi.l;
display revenu;

```

```

LILLE('Saisonnier','H',r,it) = seasonh.L(r);
LILLE('Recolte','H ach',r,it) = HARV.L(r);
LILLE('Travaux','H ach',r,it) = TRACT.L(r);
LILLE('Emprunts','Fr',r,it) = LOAN.L(r);
LILLE('Empt sup','Fr',r,it) = LOANN.L(r);
LILLE('Epargne','F',r,it) = SAVE.L(r);
LILLE('Int recus','F',r,it) = INTOTP.L(r);
LILLE('Int payes','F',r,it) = INTOT.L(r);
LILLE('Tresorerie','F',r,it) = CASH.L(r);

```

```
display LILLE;
```

```

CROPATS1(C,G,T,P,IT) = X.L(C,G,S1,T,P);
CROPATS1('DEV',n,e,ps,it) = DEV.L(N,E,PS);
DISPLAY CROPATS1;

```

```
STRESA('SAU','HA','L',IT)=SUM((C,G,S,T,P),X.L(C,G,S,T,P));
```

```

stresa('inilarent','ha','T',it)=inilarent;
stresa('landrent','ha','T',it)=landrent.l;
stresa('inilalease','ha','T',it)=inilalease;
stresa('landlease','ha','T',it)=landlease.l;

```

```

STRESA("Tec1",culv,'Has',IT) =
SUM((G,S,P),X.L(Culv,G,S,'T1',P));
STRESA("Tec2",culv,'Has',IT) =
SUM((G,S,P),X.L(Culv,G,S,'T2',P));

```

```

StRESA("Tec3",culv,'Has',IT)=SUM((G,S,P),X.L(Culv,G,S,'T3',P));
sTRESA("Tec4",culv,'Has',IT) =
SUM((G,S,P),X.L(Culv,G,S,'T4',P));

```

```

STRESA("Tec1",'%',Has,IT) =
SUM((Culv,G,S,P),X.L(Culv,G,S,'T1',P))/SUM((Culv,G,S,T,P),X.L(Culv,G,S,T,P));

```

```

STRESA("Tec2",'%',Has,IT) =
SUM((Culv,G,S,P),X.L(Culv,G,S,'T2',P))/SUM((Culv,G,S,T,P),X.L(Culv,G,S,T,P));

```

```

StRESA("Tec3",'%',Has,IT)=SUM((Culv,G,S,P),X.L(Culv,G,S,'T3',P))/SUM((Culv,G,S,T,P),X.L(Culv,G,S,T,P));
sTRESA("Tec4",'%',Has,IT) =
SUM((Culv,G,S,P),X.L(Culv,G,S,'T4',P))/SUM((Culv,G,S,T,P),X.L(Culv,G,S,T,P));

```

```

*STRESA('SFtec1',sf,'Has',IT) = *
SUM((G,S,P),X.L(Sf,G,S,'T1',P));
* STRESA('SFtec2',sf,'Has',IT) = *
SUM((G,S,P),X.L(Sf,G,S,'T2',P));
*
StRESA('SFtec3',sf,'Has',IT)=*SUM((G,S,P),X.L(Sf,G,S,'T3',
P));
* sTRESA('SFtec4',sf,'Has',IT) =
*SUM((G,S,P),X.L(Sf,G,S,'T4',P));

* STRESA('SFtec1','%','Has',IT) =
*SUM((Sf,G,S,P),X.L(Sf,G,S,'T1',P))
*/SUM((Sf,G,S,T,P),X.L(Sf,G,S,T,P));

* STRESA('SFtec2','%','Has',IT) =
*SUM((Sf,G,S,P),X.L(Sf,G,S,'T2',P))
*/SUM((Sf,G,S,T,P),X.L(Sf,G,S,T,P));

* STRESA('SFtec3','%','Has',IT)=SUM((Sf,G,S,P),X.L(Sf,G,S,'
T3',P))
*/SUM((Sf,G,S,T,P),X.L(Sf,G,S,T,P));
* sTRESA('SFtec4','%','Has',IT) =
*SUM((Sf,G,S,P),X.L(Sf,G,S,'T4',P))
*/SUM((Sf,G,S,T,P),X.L(Sf,G,S,T,P));

STRESA('WIC','Ce','has',IT) =
sum((WC,G,S,T,P),X.L(WC,G,S,T,P));
STRESA('Cper','crops','has',IT) =
sum((CPER,G,S,T,P),X.L(CPER,G,S,T,P));
STRESA('SF','crops','has',IT) =
sum((SF,G,S,T,P),X.L(SF,G,S,T,P));
STRESA('GRAS','crops','has',IT) =
sum((SF,G,S,T,P),X.L('GRAS',G,S,T,P));
STRESA('OL','crops','has',IT) =
sum((OL,G,S,T,P),X.L(OL,G,S,T,P));
stresa('leg','crops','has',it) = sum((leg,g,s,t,p),x.l(leg,g,s,t,p));
* STRESA('NITR','L','Tot',IT) =
NITLOSS.L/SUM((C,G,S,T,P),X.L(C,G,S,T,P));
STRESA('UIT','Z','T',IT) = Z.L;
STRESA('Finc','Z','Tot',IT) = Z.L+PHI*LBD.L;
STRESA('AGINC','Z','T',IT) = Z.L+PHI*LBD.L-
sum(r,INTOTP.L(r)-INTOT.L(r));
STRESA('per ha','Z','Tot',IT) =
(Z.L+PHI*LBD.L)/SUM((C,G,S,T,P),X.L(C,G,S,T,P));
stRESA('AGINC','Z','HA',IT) = (Z.L+PHI*LBD.L-
(sum(r,INTOTP.L(r)
-
INTOT.L(r)))/SUM((C,G,S,T,P),X.L(C,G,S,T,P));
STRESA(N,'devnit','ee',IT) = DEVnit.L(N);
STRESA(N,'devnat','ee',IT) = DEVnat.L(N);
STRESA('phi','L','d','ee') = phi;
*STRESA('phinit','L','d','ee') = phinit;
STRESA('LBD','L','FF',IT) = LBD.L;
STRESA('LBDnit','L','FF',IT) = LBDnit;
DISPLAY STRESA;

Result2(C,G,'has',IT) = SUM((S,T,P),X.L(C,G,S,T,P));
Result2(C,T,P,IT) = SUM((G,S),X.L(C,G,S,T,P));

RESULT2('seaswk','Rent','hs',IT) = sum(R,Seasonh.L(R));
RESULT2('hrv','Rent','hs',IT) = sum(R,Harv.L(R));
RESULT2('mach','Rent','hs',IT) = sum(R,Tract.L(R));
RESULT2('Loan','L','Frs',IT) = sum(R,Loan.L(R));
RESULT2('DEBT','L','Frs',IT)=DEBTOVER.L;
RESULT2('Cash','L','Frs',IT) = sum(R,Cash.L(R));
RESULT2('OPER','per ha','F',IT) = OPER.L;
RESULT2('SPEC','per ha','F',IT) = SPEC.L;
RESULT2('FFINCT','per ha','F',IT) =
sum(R,Loan.L(R))*STR/SUM((C,G,S,T,P),X.L(C,G,S,T,P));
RESULT2('Annuites','per ha','F',IT) =
(LTR/2+1/10)*Inicred/SUM((C,G,S,T,P),X.L(C,G,S,T,P));

DISPLAY RESULT2;

*pertenit(C,T,P,IT) =
sum((G,S),nittot(C,T,S,P)*X.L(C,G,S,T,P));
pertenit('Cult','tec','kg/ha',IT) =
sum((C,G,S,T,P),nittot(C,T,S,P)*X.L(C,G,S,T,P))/SAU;
DISPLAY pertenit;

appazot(C,T,it) =
sum((s,r,g,p),iq(c,t,s,'nitrogen',r)*X.L(C,G,S,T,P));
appazot('C','tec',it) =
sum((t,s,r,g,p),iq(c,t,s,'nitrogen',r)*X.L(C,G,S,T,P));
appazot('cult','tec',it) =
sum((c,t,s,r,g,p),iq(c,t,s,'nitrogen',r)*X.L(C,G,S,T,P));
appazot('cult','tec/ha',it) =
sum((c,t,s,r,g,p),iq(c,t,s,'nitrogen',r)*X.L(C,G,S,T,P))/sau;
*display appazot;

fumier(C,T,it) =
sum((s,r,g,p),iq(c,t,s,'fumier',r)*X.L(C,G,S,T,P));
fumier('C','tec',it) =
sum((t,s,r,g,p),iq(c,t,s,'fumier',r)*X.L(C,G,S,T,P));
fumier('cult','tec',it) =
sum((c,t,s,r,g,p),iq(c,t,s,'fumier',r)*X.L(C,G,S,T,P));
fumier('cult','tec/ha',it) =
sum((c,t,s,r,g,p),iq(c,t,s,'fumier',r)*X.L(C,G,S,T,P))/sau;
*display fumier;

totalazo('cult','tec/ha',it) =
fumier('cult','tec/ha',it)+appazot('cult','tec/ha',it);
totalazo('taxengrais','F',it)=sum((c,t,s,r,g,p),iq(c,t,s,'nitrogen',r
)*X.L(C,G,S,T,P))*taxengr
display totalazo;

Result3(C,'g','has',IT) = SUM((g,S,T,P),X.L(C,G,S,T,P));
Display result3;
DISPLAY RESULT4;

HA(S,C) = sum((P,T,G),X.L(C,G,S,T,P));
SAU=sum((S,C),HA(S,C));
Nb('v1')=sum(reg,eff.L('v1',reg));
NB('gl1')=sum(reg,eff.L('veaf',reg));
NB('gl2')=sum(reg,eff.L('gl1',reg));
INILARENT=INILARENT+LANDRENT.L;
INILALEASE=INILALEASE+LANDLEASE.L;
bati=bati+abat.l;
INISAVEs('m1')=
somSAVE.L('m12')+save4.l('m12')+CASH.l('m12')-
impot.l
*);

put IT.tl/

put / "model status: "
put$(polen1.modelstat eq 1) "Optimal";
put$(polen1.modelstat eq 2) "Locally Optimal";
put$(polen1.modelstat eq 3) "Unbounded";
put$(polen1.modelstat eq 4) "Infes";
put$(polen1.modelstat eq 5) "locally infes";
put$(polen1.modelstat eq 6) "interm infes";
put$(polen1.modelstat eq 7) "interm non optimal";

put / "solver status: "
put$(polen1.solvestat eq 1) "Normal";
put$(polen1.solvestat eq 2) "too many iter";
put$(polen1.solvestat eq 3) "Resource interrupt";
put$(polen1.solvestat eq 4) "Terminated by solver";
put$(polen1.solvestat eq 5) "evaluation error limit";
put$(polen1.solvestat eq 6) "unknown";

put /
loop(C,
put$(result3(C,'g','has','A1') or result3(C,'g','has','A2')
or result3(C,'g','has','A3') or result3(C,'g','has','A4') or
result3(C,'g','has','A5') or result3(C,'g','has','A6') or
result3(C,'g','has','A7') or result3(C,'g','has','A8')) ne 0)
"has ":12, C.tl:5,

```

```

result3(C,'g','has','A1') , result3(C,'g','has','A2')
, result3(C,'g','has','A3') , result3(C,'g','has','A4') ,
result3(C,'g','has','A5') , result3(C,'g','has','A6') ,
result3(C,'g','has','A7') , result3(C,'g','has','A8')
"":1 /
);

```

```

put$(stresa('per ha','Z','tot','A1') or stresa('per ha','Z','tot','A2')
or stresa('per ha','Z','tot','A3') or stresa('per ha','Z','tot','A4') or
stresa('per ha','Z','tot','A5') or stresa('per ha','Z','tot','A6') or
stresa('per ha','Z','tot','A7') or stresa('per ha','Z','tot','A8')) ne 0)
"has ":08, "per ha":9,
stresa('per ha','Z','tot','A1') , stresa('per ha','Z','tot','A2')
, stresa('per ha','Z','tot','A3') , stresa('per ha','Z','tot','A4') ,
stresa('per ha','Z','tot','A5') , stresa('per ha','Z','tot','A6') ,
stresa('per ha','Z','tot','A7') , stresa('per ha','Z','tot','A8')
"":1 /

```

```

*put /);
)
;

```

```

loop(it,
put ";;;;", "pertenit('Cult','tec','kg/ha',IT),
",
"":1 /
);
put ";;;;phi"; phi.
",
"":1 /
put ";;;;lbdnit"; lbdnit.
",
"":1 /
put ";;;;taxengr"; taxengr,
",
"":1 /

```

```

loop(it,
loop(anxl,
put$(coucou1(anxl,'achats',it) ne 0)
it.tl:2,
",
",
"achats";
anxl.tl:5,
",
coucou1(anxl,'achats',it),
"":1 /
);
*);

```

```

*loop(it,
loop(anxl,
loop(reg,
**put$(coucou2(anxl,'effectifs',reg,it) ne 0)
put it.tl:2,
",
",
"effectifs";
reg.tl:4,
",
anxl.tl:5,
",
coucou2(anxl,'effectifs',reg,it),
"":1 /
);

```

```

);
*put ";;;;revlait"; revenu('revlait','F',it),
",
",
"":1 /
*put ";;;;revvia"; revenu('revvia','F',it),
",
",
"":1 /
put ";;;;revcul"; revenu('revcul','F',it),
",
",
"":1 /
put ";;;;revfi"; revenu('revfi','F',it),
",
",
"":1 /
*put ";;;;ctsf"; revenu('ctsf','F',it),
",
",
"":1 /
*put ";;;;fix"; revenu('fix','F',it),
",
",
"":1 /
put ";;;;sau"; STRESA('SAU','HA','L',IT),
",
",
"":1 /
put ";;;;sf"; STRESA('SF','crops','has',IT),
",
",
"":1 /
*put ";;;;cper"; STRESA('cper','crops','has',IT),
",
",
"":1 /
*put ";;;;wic"; stresa('wic','ce','has',it),
",
",
"":1 /
*put ";;;;ol"; stresa('ol','crops','has',it),
",
",
"":1 /
*put ";;;;bettsuc"; stresa('bettsuc','crops','has',it),
",
",
"":1 /
put ";;;;tec1 %"; STRESA("Tec1','%','Has',IT),
",
",
"":1 /
put ";;;;tec2 %"; STRESA("Tec2','%','Has',IT),
",
",
"":1 /
put ";;;;tec3 %"; STRESA("Tec3','%','Has',IT),
",
",
"":1 /
put ";;;;tec4 %"; STRESA("Tec4','%','Has',IT),
",
",
"":1 /
put ";;;;AGINC HA"; stRESA('AGINC','Z','HA',IT),
",
",
"":1 /
put ";;;;Per Ha"; STRESA('per ha','Z','Tot',IT),
",
",
"":1 /

```

```

loop(c,
put ";;HA;Tec1"; C.tl:5,
",
",
STRESA("Tec1',c','Has',IT)
",
",
"":1 /
put ";;HA;Tec2"; C.tl:5,
",
",
STRESA("Tec2',c','Has',IT)
",
",
"":1 /
put ";;HA;Tec3"; C.tl:5,
",
",
STRESA("Tec3',c','Has',IT)
",
",
"":1 /
put ";;HA;Tec4"; C.tl:5,
",
",
STRESA("Tec4',c','Has',IT)
",
",
"":1 /

```

```

":1 /
);

loop(c,
put ";;;ha;",C.tl:5,
":1 /
Result3(C,'g','has',IT),
":1 /
);

put /

*put ";;;nitr;",STRESA('NITR','L','Tot',IT),
":1 /
put ";;;lbd;",STRESA('LBD','L','FF',IT),
":1 /
put ";;;lbdnit;",STRESA('LBDnit','L','FF',IT),
":1 /
loop(n,
put ";;;devnit;",STRESA('N','devnit','ee',IT),
":1 /
);
*put ";;;saisonnier;",RESULT2('seaswk','Rent','hs',IT),
":1 /
*put ";;;hrv;",RESULT2('hrv','Rent','hs',IT),
":1 /
*put ";;;mach;",RESULT2('mach','Rent','hs',IT),
":1 /
*put ";;;loan;",RESULT2('Loan','L','Frs',IT),
":1 /
*put ";;;debt;",RESULT2('DEBT','L','Frs',IT),
":1 /
*put ";;;cash;",RESULT2('Cash','L','Frs',IT),
":1 /
*put ";;;oper;",RESULT2('OPER','per ha','F',IT),
":1 /
*put ";;;spec;",RESULT2('SPEC','per ha','F',IT),
":1 /
*put ";;;taxeng;"
":1 /
*put ";;;ffinct;",RESULT2('FFINCT','per ha','F',IT),
":1 /
*put ";;;annuités;",RESULT2('Annuités','per ha','F',IT),
":1 /
put ";;;pertenit;",pertenit('Cult','tec','kg/ha',IT),
":1 /
*put ";;;pertsn;",pertsn('Cult','tec','kg/ha',IT),
":1 /
*put ";;;appazot;",appazot('cult','tec',it),
":1 /
*put ";;;appazot/ha;",appazot('cult','tec/ha',it),
":1 /
*put ";;;fumier;",fumier('cult','tec',it),
":1 /
*put ";;;fumier/ha;",fumier('cult','tec/ha',it),

```

```

":1 /
*put ";;;totalazo/ha;",totalazo('cult','tec/ha',it),
":1 /
*put ";;;taxengrais;",totalazo('taxengrais','F',it),
":1 /

*put ";;;ugbnitra;",result4('ugbnitra','ugb',it),
":1 /
*put ";;;redevbrut;",result4('redevbrut','ugb',it),
":1 /
*put ";;;redevnet;",result4('redevnet','ugb',it),
":1 /
*put ";;;+seuil;",result4('verifi '+'rn-seuil',it),
":1 /
*put ";;;redevpay;",result4('redevpay','ugb',it),
":1 /
*put ";;;ugbprpac;",result4('ugbprpac','ugb',it),
":1 /
*put ";;;ugbprpac +;",result4('VERIFIER','UGBprPAC+',it),
":1 /
*put ";;;nbugbext;",result4('nbugbext','ugb',it),
":1 /
*put ";;;nbugbpac;",result4('nbugbpac','ugb',it),
":1 /
*put ";;;nbugbher;",result4('nbugbher','ugb',it),
":1 /
*put ";;;ugbpac;",result4('ugbpac','ugb',it),
":1 /
*put ";;;ugbherb;",result4('ugbherb','ugb',it),
":1 /
*put ";;;primebov;",result4('primebov','ugb',it),
":1 /
*put ";;;diffugb;",result4('diffugb','ugb',it),
":1 /
*put ";;;diffugb +;",result4('VERIFIER','diffugb+',it),
":1 /
*put ";;;pribovp;",result4('pribovp','ugb',it),
":1 /
*put ";;;bati;",result4('bati','m2',it),
":1 /
*put ";;;achat bati;",result4('abati','m2',it),
":1 /

*loop(c,
*loop(T,
**put$(result2(C,T,P,it) ne 0)
*put it.tl:2,
*";ha;",
* C.tl:5,
* T.tl:3,
* Result2(C,T,'has',IT)
**put /;
**":1 /

```

```

**put";
*);
*);

*loop(c,
*loop(T,
*loop(P,
**put$(result2(C,T,P,it) ne 0)
*put it.tl:2,
";ha,"
* C.tl:5,
",,
* T.tl:3,
",,
* P.tl:5,
",,
*result2(C,T,P,it),
**",,
**nittots(c,t,p)
**put /;
**";1 /
*put";
*);
*);
*);
);

```

## ANNEXE III

### LA MODELISATION ECONOMIQUE DES EXPLOITATIONS POLY CULTURE ELEVAGE

#### MODELE RECURSIF MULTIPERIODIQUE

#### EXEMPLE DU BARROIS

Le modèle développé pour simuler à l'échelle d'une exploitation de référence du Barrois, la double activité : vente de productions végétales et production de viande bovine est de type récursif multipériodique. Nous en présentons ici le détail.

La maquette technico-économique proposée simule les activités de l'exploitation que nous venons de présenter sur une période de six ans (1991-1996). La fonction objectif cherche à maximiser un revenu espéré compte tenu d'un certain nombre de contraintes physiques et financières.

Les caractéristiques du modèle de l'exploitation sont les suivantes :

- optimisation du revenu global des trois années à venir calculé en fonction des anticipations sur les prix, les primes et les rendements techniques, sur une période de 6 années,
- prise en compte explicite des contraintes de risque liées aux variations climatiques et aux incertitudes économiques (niveaux futurs des prix et des primes pour les cultures et les animaux),
- prise en compte de contraintes de trésorerie en considérant différents niveaux d'endettement initial,
- récursivité (les résultats de l'année en cours deviennent les conditions de départ de l'année suivante),
- l'augmentation des capacités de production est représentée par des achats supplémentaires de services du capital productif (matériel, foncier, bâtiments d'élevage ...) valorisés aux coûts d'usage, il n'y a pas de fonction d'investissement explicite.

#### I LES VARIABLES ENDOGENES DU MODELE

Il s'agit comme pour les autres modèles :

- des surfaces cultivées : cultures de vente (blé, orge, betteraves sucrières), de la jachère (colza énergétique et engrais vert), des surfaces fourragères ( prairies temporaires, maïs ensilage, prairies permanentes). L'optimisation de ces surfaces est fonction du précédent, du sol, de la technique

## I.1 Les surfaces cultivées

$X_{c,s,t,hp}$  = nombre optimal d'hectares par :

- culture (c = blé tendre, orge, colza, jachère),
- type de sol (s = profond ou non profond),
- technique (t = très intensive, intensive raisonnée, extensive raisonnée, extensive),
- horizon de planification (hp1 à hp3),

## I.2 La structure foncière

**LANDLEASE<sub>hp</sub>** = nombre optimal d'hectares de terres cédées (en location) par l'agriculteur. Le modèle permet à l'agriculteur de restreindre sa surface agricole en donnant en location une partie des terres qu'il a en propriété.

**LANDRENT<sub>hp</sub>** = nombre optimal d'hectares de terres louées par l'agriculteur. L'exploitation peut s'agrandir en louant de nouvelles terres.

## I.3 Le travail

\* Heures disponibles au niveau de l'exploitation

**HFLT<sub>per,hp</sub>** = heures disponibles par période (per) pour les travaux de traction,

**HFLS<sub>per,hp</sub>** = heures disponibles par période pour les travaux de surveillance des cultures,

**HFH<sub>per,hp</sub>** = heures disponibles par période pour les travaux de récolte,

\* Heures acquises à l'extérieur (location)

**SEASONH<sub>per,hp</sub>** = travail saisonnier pour la surveillance des cultures,

**TRACT<sub>per,hp</sub>** = heures acquises pour les travaux de traction (hommes et machines),

**HARV<sub>per,hp</sub>** = heures acquises pour les travaux de récolte (hommes et machines),

\* Heures cédées à l'extérieur (location)

**HFL<sub>per,hp</sub>** = heures cédées par période,

**TRACTL<sub>per,hp</sub>** = heures cédées pour les travaux de traction (hommes et machines),

**HARVL<sub>per,hp</sub>** = heures cédées pour les travaux de récolte (hommes et machines),

## I.4 Les variables financières

**LOAN<sub>per,hp</sub>** = montant des emprunts à court terme par période,

**LOANN<sub>per,hp</sub>** = emprunts à court terme pour compenser les découverts par période,

**LOANR<sub>per,hp</sub>** = montant des remboursements d'emprunts,

**SAVE<sub>per,hp</sub>** = montant des placements à 7% à court terme par période,

**SAVE4<sub>per,hp</sub>** = montant des placements à 4% à court terme par période,

**CASH<sub>per,hp</sub>** = disponibilité de trésorerie par période.

**INTOT<sub>per,hp</sub>** = total des intérêts payés.

**INTOTP<sub>per,hp</sub>** = total des intérêts perçus.

**DEBTOVER<sub>hp</sub>** = intérêts+principal des emprunts "anti-découvert" à rembourser l'année suivante.

## I.5 Les écarts tolérés par rapport au revenu minimum

**DEV<sub>n,e,ps,hp</sub>** = écart annuel toléré selon cinq conditions agronomiques (n) (niveaux des rendements par aléa climatique), deux scénarios de primes de la P.A.C. anticipés pour chaque culture par l'agriculteur (e), trois scénarios de prix de vente des cultures (ps) et trois années de prévision. Au total, il y a 90 états de la nature possibles supposés équiprobables pour l'exploitant.

## **II LA FONCTION OBJECTIF ET LA CONTRAINTE DE RISQUE**

- la contrainte de risque. La formulation retenue ici est une variante de la formulation Target MOTAD proposée par Tauer (1983), dans laquelle la fonction objectif, est une utilité espérée U, telle que  $U = E - \Phi \lambda$  (Boussemart et al., 1994).

Dans la formulation adoptée,  $\lambda$  représente le niveau de risque envisagé par l'agriculteur et  $\Phi$  ou aversion au risque, le taux de substitution entre le revenu espéré (E) et la somme des écarts négatifs ( $\lambda$ ).

Le revenu E s'écrit donc ainsi :

<b>REVENU</b>	
- Coûts salariaux	+ Marges directes
- Achats de services	+ Intérêts perçus sur les placements
- Achats de bâtiments	
- Fermages	
- Charges financières	+ Revenus fonciers
- Charges fixes	
- Amortissements	

### II.1 La marge directe

La différence entre les **recettes totales**, provenant des ventes et des primes, et les **charges directes** (achats d'animaux, charges annexes de culture et d'élevage, d'alimentation, d'approvisionnement et de matériel) représente ce que l'on appelle généralement la **marge directe**. Elle est calculée par hectare pour chaque culture et pour chaque cheptel défini en fonction de son alimentation.

Remarques

*Le rendement moyen des cultures de vente :*

Il dépend à la fois de la production en cours et du précédent cultural :

Les rendements par condition agronomique proviennent des résultats du simulateur E.P.I.C..

Nous avons ici pris en compte les risques associés aux aléas climatiques et aux maladies, notamment quand le niveau des traitements phytosanitaires diminue.

*Le rendement moyen pour les cultures fourragères*

Exprimé selon diverses techniques, il est directement issu de la littérature.

*Les prix de vente des cultures et des animaux, et les prix d'achat des animaux:*

Il s'agit de données **exogènes** qui dépendent de la P.A.C. et du **marché**.

*Les primes culture et élevage:*  
Données exogènes pré définies

*Poids des animaux*

Données exogènes. Les poids des animaux destinés à l'abattage sont exprimés en poids carcasse, tandis que ceux destinés à l'élevage sont en poids vif.

□ Les charges directes :

Elles comprennent les charges d'approvisionnement en fertilisants et produits phytosanitaires et les coûts liés au travail de la terre (carburants, entretien) pour toutes les cultures.

Elles regroupent aussi tous les frais directs liés à l'élevage : alimentation achetée et frais divers.

## II.2 Les intérêts perçus sur les placements

Ce sont les revenus issus de placements :

Intérêts perçus = Somme des placements mensuels \* Taux d'intérêt par période

□ Les placements mensuels : Il s'agit d'une variable mensuelle **endogène** qui est à optimiser, le modèle indiquant le montant et le moment propice pour effectuer des placements.

□ Le taux d'intérêt mensuel :

C'est une donnée **exogène** que l'on fixe à 7 % pour l'épargne bloquée sur un an et à 4 % pour l'épargne disponible à tous moments.

## II.3 Les revenus fonciers

Ces revenus proviennent des terres, en propriété, données en location à d'autres agents économiques. Ils dépendent du nombre d'hectares cédés optimisés par le modèle et du prix du fermage, paramètre exogène.

## II.4 Les coûts salariaux

Les coûts salariaux sont exprimés par période et dépendent du nombre d'heures de travail et de son coût horaire. Les heures de travail saisonnier sont optimisées par le modèle compte tenu des disponibilités en main-d'oeuvre permanente de l'exploitation (famille et salariés). La rémunération de la main-d'oeuvre salariale permanente est un coût fixe de l'activité.

### II.5 Les achats de services

Le modèle optimise les besoins en heures supplémentaires pour les opérations de traction et les travaux de récolte. Ces quantités pondérées par le prix<sup>2</sup> horaire du service d'une entreprise de travaux agricoles donnent le montant total de ces achats.

### II.6 Les achats de bâtiments

Le modèle optimise l'achat de m<sup>2</sup> supplémentaires de bâtiments nécessaires pour loger les animaux. Le prix unitaire est fixé à 800 F.

### II.7 Le fermage

Cette charge de structure correspond aux hectares supplémentaires que l'agriculteur désire mettre en culture pour optimiser son revenu, multipliés par le prix du fermage. Ces hectares supplémentaires sont optimisés par le modèle. La charge foncière de la S.A.U. initiale en faire-valoir indirect est comptabilisée dans les coûts fixes.

### II.8 La charge financière

Elle provient des emprunts mensuels à court terme réalisés à un taux d'intérêt annuel moyen de 11 % et des emprunts à court terme contractés pour compenser les découverts à un taux d'intérêt annuel moyen de 20 %. Ce sont des variables endogènes dont les montants et les dates de réalisation sont optimisés par le modèle.

### II.9 Les charges fixes

Il s'agit des charges des constructions ainsi que des frais généraux (assurances, honoraires, impôts, taxes, ...) mais aussi des coûts de la main-d'oeuvre salariée permanente et des intérêts versés relatifs à l'encours à moyen et long terme initial. Cet encours est supposé remboursable en 10 ans à un taux d'intérêt de 10 % à partir de la première année de notre période d'analyse. Toutes ces charges n'interviennent pas dans le choix de la solution optimale de l'année en cours puisqu'elles sont exogènes mais influencent les résultats futurs par le biais de la récursivité du montant de la trésorerie d'une année à l'autre. Les amortissements du matériel sont considérés à part.

Le niveau de risque  $\lambda$  correspond à la somme sur les différents états de la nature (conditions climatiques, niveaux des primes et des prix) des écarts négatifs au revenu minimum.

---

<sup>2</sup> Les prix proviennent du barème indicatif d'entraide 92 et s'entendent hors frais de carburant et d'entretien déjà comptabilisés dans les charges directes à l'hectare. Ils recouvrent les rémunérations des services de l'entreprise agricole (amortissement de son matériel et coût du conducteur d'engin).



### ⇒ La main-d'oeuvre permanente

Pour chaque période, les quantités optimales d'heures de travail nécessaires pour la traction et la supervision des travaux (variables endogènes) auxquelles on ajoute les heures disponibles pour les récoltes (ressources) ne doivent pas dépasser les ressources de main-d'oeuvre permanente (famille + salariés) de l'exploitation ôtées des ressources louées à l'extérieur :

$$HFLT_{per} + HFSL_{per} + HFH_{per} \leq HFL_{per} - HFLL_{per}$$

avec

$HFLT_{per}$  = main-d'oeuvre permanente du mois r pour la traction,

$HFSL_{per}$  = main-d'oeuvre permanente pour la supervision,

$HFH_{per}$  = disponibilité mensuelle pour les travaux de récoltes,

$HFL_{per}$  = disponibilité mensuelle de main-d'oeuvre permanente.

$HFLL_{per}$  = heures de travail cédées à l'extérieur.

### ⇒ La supervision

Le travail de surveillance des cultures est assuré par la main-d'oeuvre permanente chargée de cette tâche éventuellement aidée par des employés saisonniers si besoin est :

$$S_{cper} \cdot X_c \leq HFSL_{per} + SEASONH_{per} - HFLL_{per}$$

$a_{cper}$  = quantité de travail de surveillance par hectare de culture c pour le mois r,

$SEASONH_{per}$  = achat d'heures de travail saisonnier pour le mois r.

### III.4 Les travaux de récolte

Les travaux de récolte par mois sont assurés par les disponibilités mensuelles de l'exploitation pour ces tâches majorées (si besoin est) des achats de services à une entreprise de travaux agricoles minorées des heures de travail de récolte cédées :

$$S_{cbper} \cdot X_c \leq HFH_{per} + HARV_{per} - HARVL_{per}$$

avec  $b_{cper}$  = temps nécessaire pour la récolte d'un hectare de culture c au mois r,

$HARV_{per}$  = achats de services de travaux de récoltes (variable endogène).

$HARVL_{per}$  = cession de services de travaux de récoltes (variable endogène).

### III.5 La traction

Les opérations de traction par mois sont effectuées par la main-d'oeuvre permanente affectée à ce travail complétée éventuellement d'achats d'heures de services à une entreprise extérieure, ôtée des heures de traction cédées :

$$S_{cdper} \cdot X_c \leq HFLT_{per} + TRACT_{per} - TRACTL_{per}$$

avec  $d_{cper}$  = temps de traction nécessaire pour un hectare de culture c,

$HFLT_{per}$  = main-d'oeuvre permanente pour opérations de traction pour le mois r (endogène),

$TRACT_{per}$  = achats de services de traction au mois r (endogène).

$TRACTL_{per}$  = cession de services de traction au mois r (endogène).

### III.6 Le crédit

Le modèle offre la possibilité de réaliser des emprunts à court terme mais il suppose que la banque fixe un montant maximum annuel d'engagement que l'exploitant ne peut dépasser :

$$S_{\text{per}} \text{ LOAN}_{\text{per}} \leq \text{MAXST}$$

avec :

$N_{\text{per}}$  = niveau des emprunts à court terme pour le mois  $t$ ,

MAXST = prêt annuel maximum que la banque est prête à accorder à l'exploitant.

### III.7 La trésorerie

Le solde de trésorerie du mois précédent majoré des rentrées monétaires de la période et diminué des débours mensuels donne l'état de la trésorerie du mois en cours :

<b>Solde de trésorerie</b>	
Dépenses mensuelles : charges opérationnelles, charges fixes, charges salariales, location de terre, location de main-d'oeuvre, location de matériel, prélèvements familiaux	Solde de trésorerie du mois précédent
Placements par mois, remboursement d'emprunts et intérêts payés	Recettes du mois : ventes, primes, location de main-d'oeuvre, location de terre
<b>Solde de trésorerie du mois</b>	Emprunts mensuels et intérêts perçus

La trésorerie du début de l'année correspond à la trésorerie de la fin de l'année précédente majorée du montant de l'épargne annuelle et diminuée des annuités de remboursement des emprunts de l'année précédente.

### III.8 Le foncier

La S.A.U. pour l'exercice en cours ne peut dépasser la S.A.U. de l'exercice précédent majorée des hectares supplémentaires repris en fermage et diminuée des terres cédées en location :

$$S_c X_{ct} \leq S.A.U._{t-1} + \text{LANDRENT}_t - \text{LANDLEASE}_t$$

avec :

$S.A.U._t$  = S.A.U. de l'année  $t$ ,

$\text{LANDRENT}_t$  = hectares supplémentaires loués,

$\text{LANDLEASE}_t$  = hectares cédés.

Les hectares cédés ne peuvent être prélevés que sur le foncier en propriété :

$$\text{LANDLEASE}_t \leq \text{PROP}_t$$

avec  $\text{PROP}_t$  = terres en propriété.

### III.9 L'alimentation animale

Les besoins en fourrage à l'auge (effectif \* besoin unitaire en fourrage\*durée d'alimentation) doivent être inférieurs ou égaux aux ressources (surfaces fourragères \* rendement).

Les besoins en tourteaux et cmv sont écrits selon la même inégalité : besoins  $\leq$  ressources.

Les besoins en céréales sont couverts par autoconsommation et/ou achats extérieurs (variables endogènes). On considère que la consommation annuelle de céréales est stockée dans les limites de la disponibilité en capacité de stockage de l'exploitation (celle-ci est fixe).

Les besoins en pâturage pour le printemps, l'été et l'automne sont exprimés en chargement maximal par période : effectifs\*besoins unitaires  $\leq$  surfaces\*rendements

### III.10 Les bâtiments d'élevage

Les besoins en bâtiments des animaux ne peuvent excéder la capacité de l'exploitation :

$$\text{BBAT} * \text{NBanix} \leq \text{BATI}$$

Avec BBAT besoins en bâtiments par type d'animal en m<sup>2</sup>

NBanix effectif animal

BATI capacité totale en m<sup>2</sup>

La capacité de l'exploitation égale la capacité initiale plus les m<sup>2</sup> supplémentaires achetés

### III.11 Le renouvellement du troupeau

Les effectifs se raisonnent période par période, ce qui permet de suivre très précisément leur évolution en fonction des achats, des ventes et des changements de catégorie.

Plutôt que de présenter ici les équations (que l'on trouvera dans le programme GAMS présenté à la suite de cette annexe) nous préférons montrer sous forme de graphiques, l'évolution des effectifs pour chacune des catégories d'animaux.

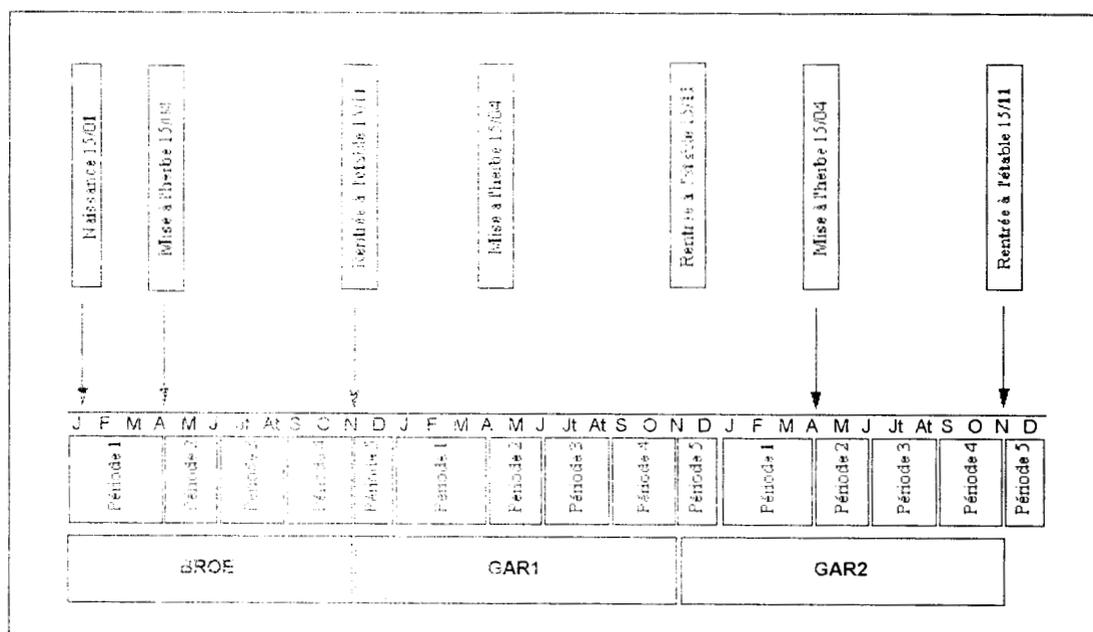


Fig 1 : Conduite du troupeau génisses

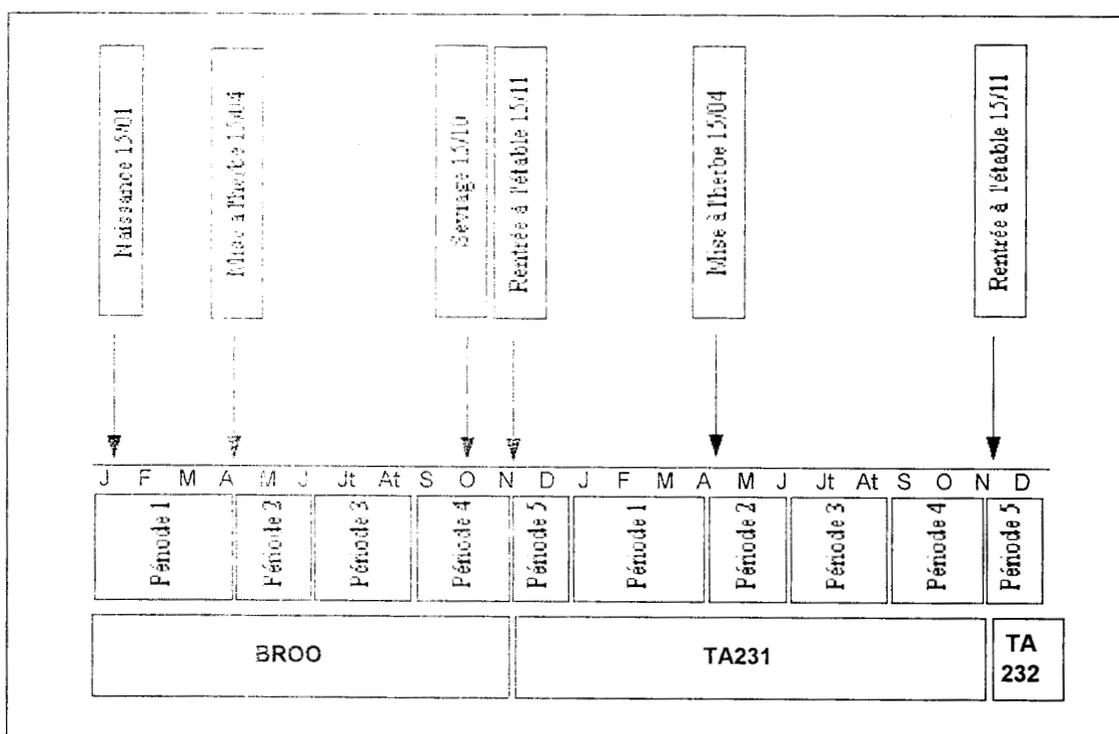


Fig 2: Conduite du troupeau taurillon 23 mois

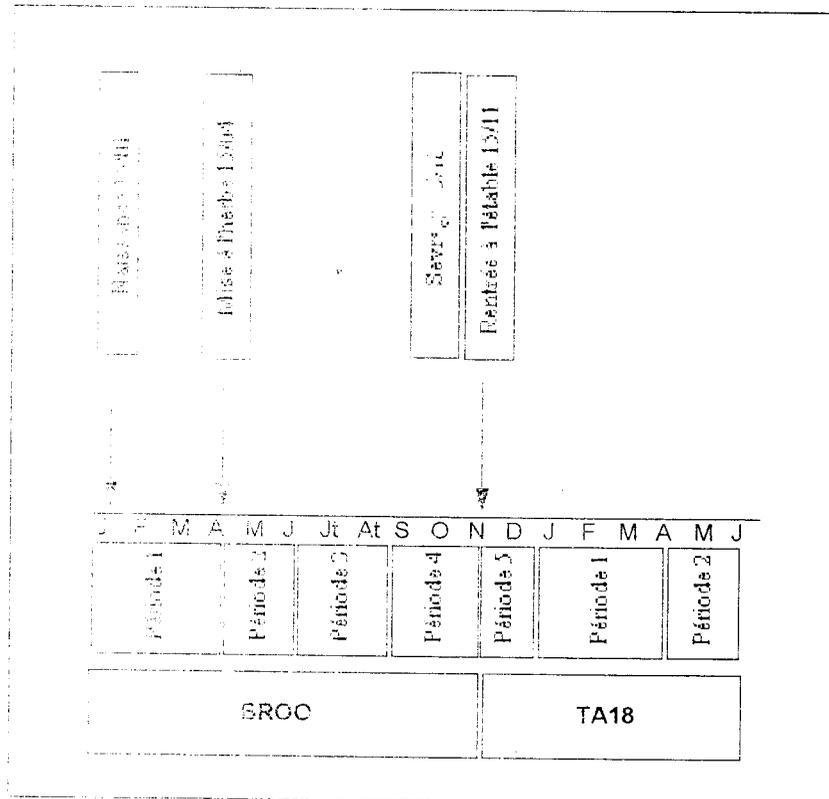


Fig 3 : Conduite du troupeau Taurillon 18 mois

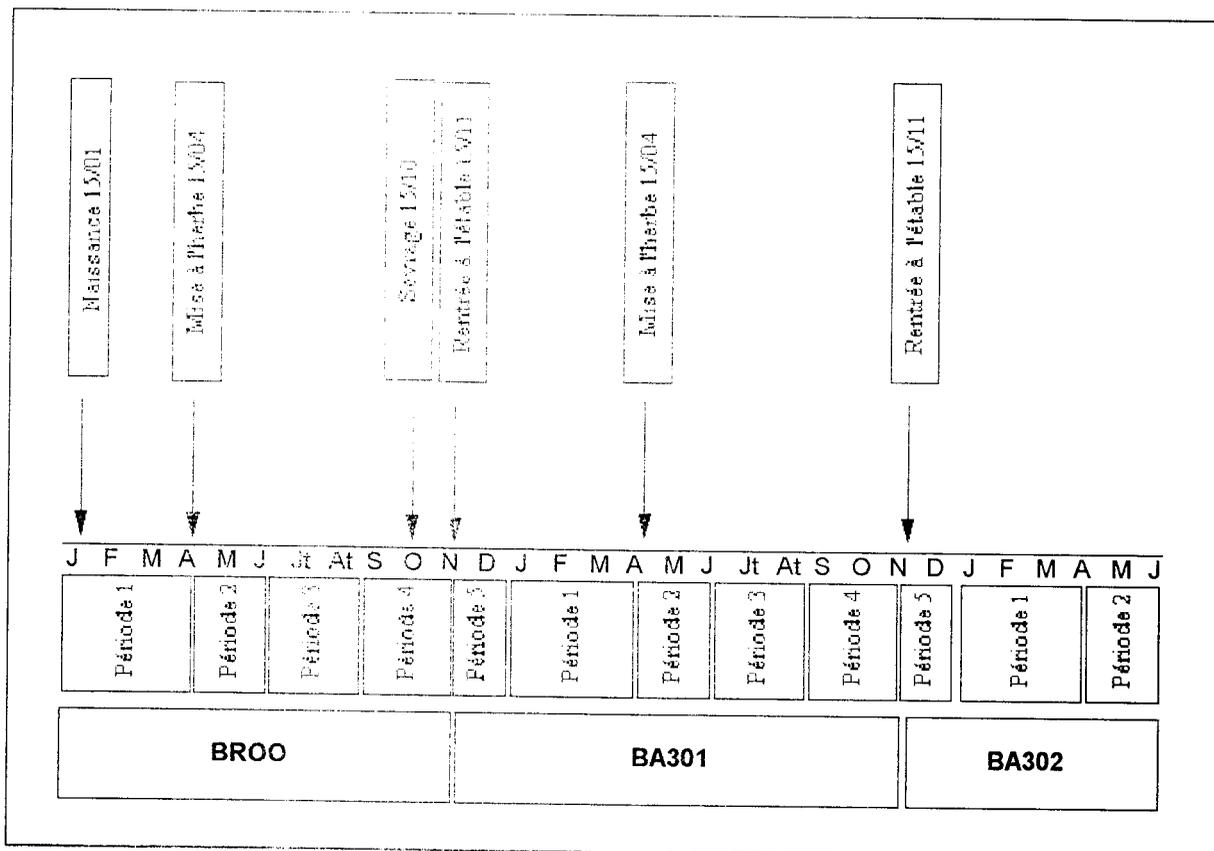
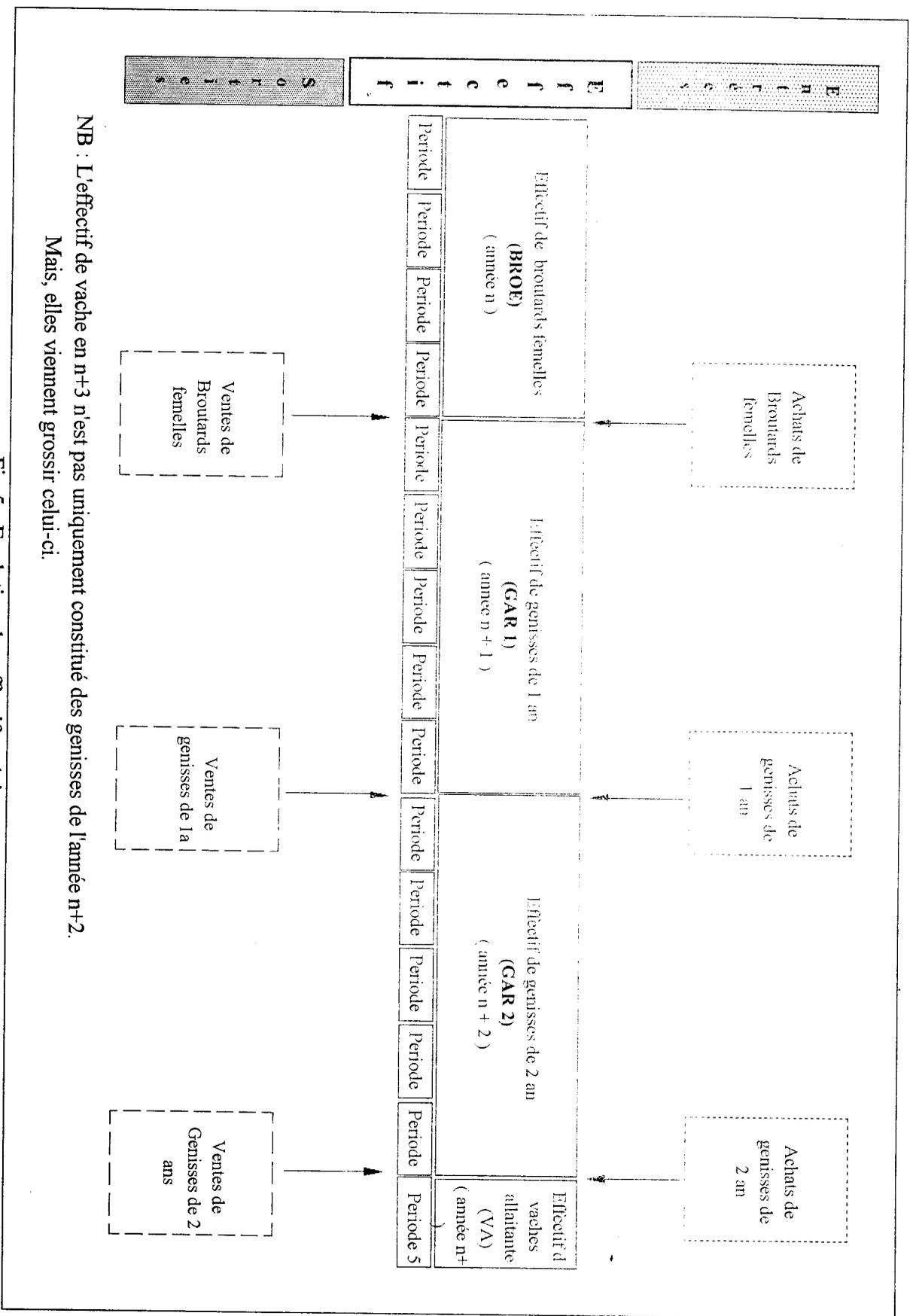


Fig 4 : Conduite du troupeau boeufs de 30 mois



NB : L'effectif de vache en n+3 n'est pas uniquement constitué des génisses de l'année n+2.  
 Mais, elles viennent grossir celui-ci.

Fig 5 : Evolution des effectifs génisses

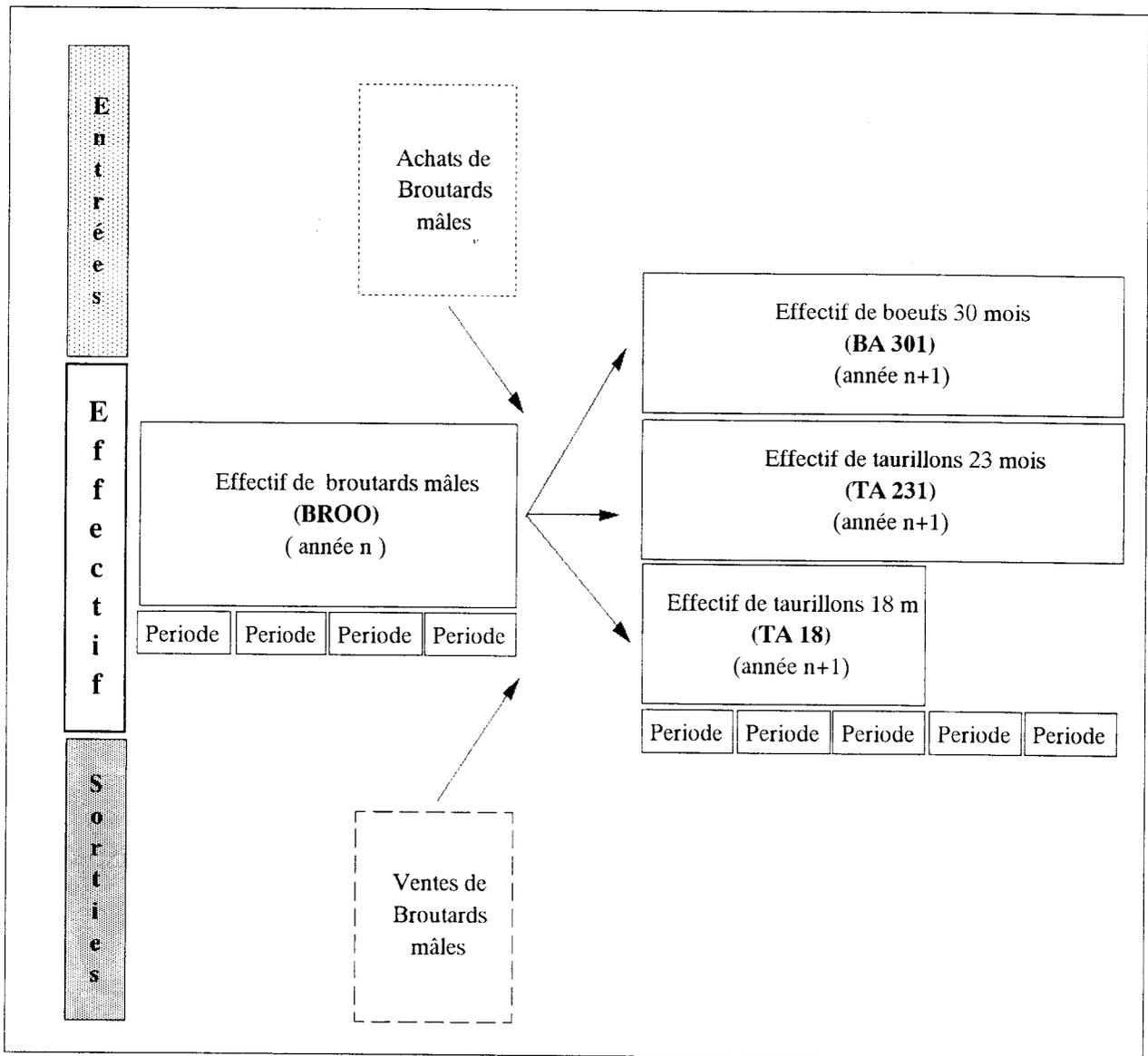


Fig 6 : Evolution des effectifs de brotards

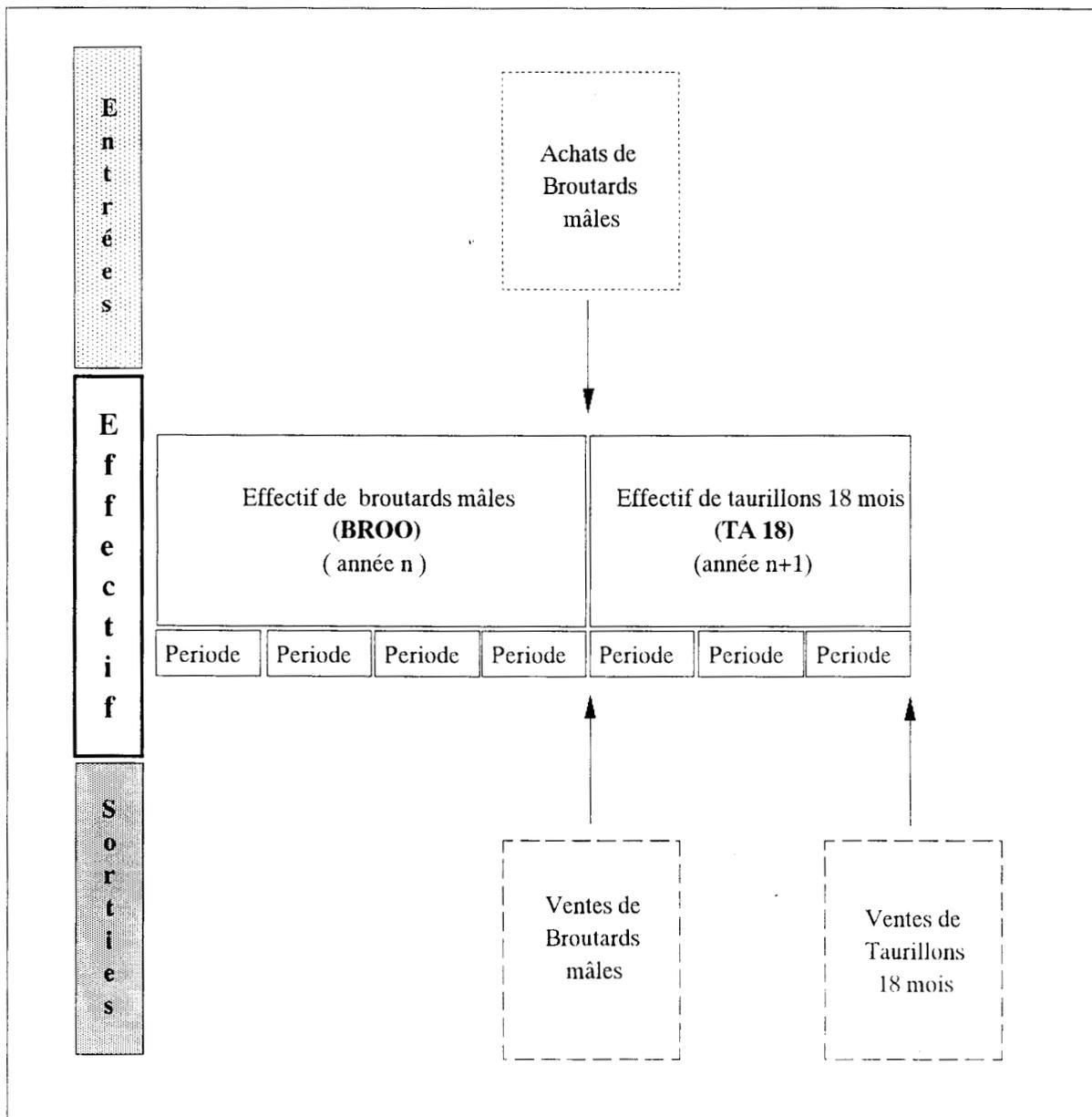


Fig 7 : Evolution des effectifs de taurillons 18 mois

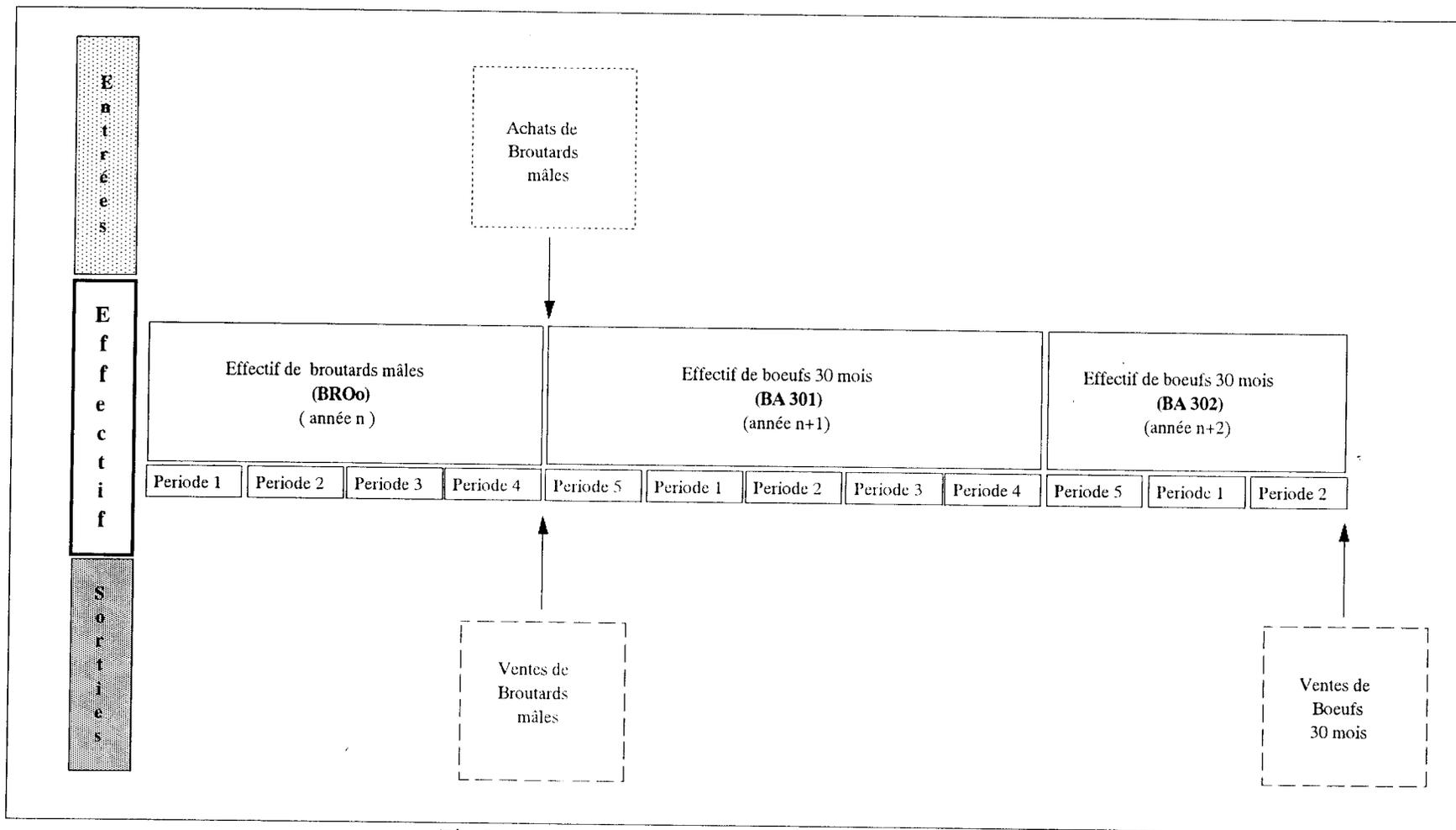


Fig 8 : Evolution des effectifs de boeufs de 30 mois

### III.12 Le chargement

Contrainte de chargement PAC pour l'obtention de la prime PAC : le chargement PAC (UGB PAC / SFP) calculé doit être inférieur ou égal au seuil pré défini (limipac). Le montant de la prime est exogène.

Contrainte de chargement HERBE pour l'obtention de la prime HERBE : le chargement HERBE (UGB HERBE / SFP) calculé doit être inférieur ou égal au seuil pré défini (limiher).

Contrainte de prime d'extensification pour l'obtention de la prime extensification : le chargement PAC (UGB PAC / SFP) calculé doit être inférieur ou égal au seuil pré défini (limiext).

Comme nous l'avons déjà vu, il n'est pas possible d'optimiser le rapport de deux variables endogènes. Aussi nous devons procéder successivement aux différents cas de figure.

### III.13 La positivité des variables

Certaines variables endogènes doivent être nécessairement positives, il faut donc contraindre la solution optimale dans ce sens. Ces variables sont :

- les surfaces à cultiver,
- les heures de la main-d'oeuvre permanente,
- les heures de main-d'oeuvre saisonnière,
- les heures de traction,
- les heures de supervision,
- les emprunts,
- les placements,
- la trésorerie
- les terres cédées ou reprises en location,
- les déviations par rapport au revenu minimal.
- les effectifs
- les achats d'aliments (céréales, cmv...)
- les ventes et les achats d'animaux
- les stocks d'aliments et d'animaux

## **IV LA RECURSIVITE**

Les résultats de l'année en cours deviennent les conditions de départ de l'exercice suivant.

### IV.1 La SAU

La S.A.U. de l'année correspond au total des hectares cultivés en t :  $S.A.U._t = S X_{c,t}$

#### IV.2 La location de terres

Les hectares supplémentaires en fermage de l'année s'ajoutent aux hectares supplémentaires des années antérieures pour permettre de calculer la charge totale de fermage :

$$\begin{aligned} \text{INILARENT}_t &= \text{LANDRENT}_t + \text{INILARENT}_{t-1} \\ \text{FERMAGE}_t &= \text{INILARENT}_t \cdot w_t \end{aligned}$$

avec

$\text{INILARENT}_t$  = hectares supplémentaires en fermage cumulés sur les années écoulées,

$\text{LANDRENT}_t$  = nouvelle surface louée au cours de la campagne,

$\text{FERMAGES}_t$  = charge locative du foncier (sans les terres initialement louées).

#### IV.3 La trésorerie initiale

La trésorerie du début de l'année correspond à la trésorerie de la fin de l'année précédente majorée du montant de l'épargne annuelle.

#### IV.4 Les effectifs animaux

Les effectifs de fin d'année sont repris comme effectifs de début de l'année suivante.



/patu/

EH(SDE) sde ensile au printemps puis pature  
/ensh/

F(SDE) sde fauche en foin en ete puis pature  
/fpat,freg/

fo(sde)  
/fpat/

fr(sde)  
/freg/

EM(SDE) sde ensile en maïs non paturable  
/maïs/

paill(sde)  
/ble,orge/

SFP(satc) surface fourragere principale  
/patu,ensh,fpat,freg,maïs/

SCOP(SATC) surface en cereale et oleoprotagineux  
/colza,ble,orge,jach,maïs/

ABA Aliment du betail achete  
/trtx tourteau de soja  
,cmv complement mineral vitamine  
,ccjb complement croissance jeune bovin  
/

FOUR Fourrage distribue a l auge  
/foin foin  
,empe ensilage maïs plante entiere  
,ehpe ensilage d herbe plante entiere  
,paille paille de cereale/

PER Perodes d elevage  
/1\*5/

PER1234(Per)  
/1,2,3,4/  
PER1245(Per)  
/1,2,4,5/  
per234(per)  
/2,3,4/  
per34(per)  
/3,4/  
per12(per)  
/1,2/  
per2345(per)  
/2,3,4,5/  
PER5(per)  
/5/  
PER1(per)  
/1/  
PER1235(per)  
/1,2,3,5/  
PER1345(per)  
/1,3,4,5/

ANnee annees considerees  
/91\*98/  
an(annee)  
/91\*98/

hp horizon de maximisation  
/hp1,hp2,hp3/  
hp23(hp)  
/hp2,hp3/

PRIMEs les deux types de prime  
/pac,herbe/

## \*PARTIE 2 introduction des donnees

PARAMETER HAIi(Sol,annee) soil availability per soil type and  
prev crop  
\$INCLUDE SOIL.mec  
;

PARAMETER hai(sol,lp);  
PARAMETER hahp(sol,lp)  
/s2.lp1 0/;

### SCALARS

sau1 /152/  
or nombre de tracteurs /3/  
h nombre de moissonneuse /1/  
PP prairies permanentes en hectares /49/  
UTH nombre de personnes a temps complet /2/  
salp salaries permanents /0/  
castker capacite de stockage en cereales /10000/  
SMI cout de MO en F:h /34/  
CABAT cout annuel du m2 construit /800/  
TXRENOUV tx de renouvellement /0.2/  
TXREFORM tx de reforme /0.2/  
TXPN tx productivite numerique veau sevre:VA:an /0.90/

PARAMETER nbj(per) nombre de jours de la periode  
/1 105,2 60,3 75,4 75,5 45/

PARAMETER NBjdis(PER) nombre de jours par periode  
/1 90,2 51,3 75,4 64,5 38/

PARAMETER tpsdis(per) nombre d heures par jours  
/1 8,2 8,3 10,4 9,5 8/

SCALAR TIME percent of time for transport administration etc  
\* cas particulier avec des salaries permanents  
/0.75/;

PARAMETER HO(per) time availability of tractors per month;  
HO(per)=OR;

PARAMETER HH(per) time availability of harvest equip per  
month;  
HH(per)=H;

PARAMETER HFL(per) time availability of farm labour per  
month;  
HFL(per)=tpsdis(per)\*nbjdis(per)\*uth+salp\*8\*nbj(per)\*5/7;

TABLE YN(satc,Tec,Sol,N) rdt (qx par ha)  
\$INCLUDE rdtc.mec

PARAMETER Y(Satc,TEC,Sol) rdt moyen sur 5 ans;  
Y(Satc,TEC,Sol)=sum(N,YN(Satc,TEC,Sol,N))/CARD(N);

PARAMETER IP(I) prix des inputs  
\$INCLUDE INPut.mec

TABLE IQ(Satc,Tec,Sol,I,per) quantite inputs  
\$INCLUDE treatm.mec

PARAMETER IC(Satc,Tec,Sol,I,per) cout des inputs;  
IC(Satc,Tec,Sol,I,per)=IQ(Satc,Tec,Sol,I,per)\*IP(I);

TABLE oper(Satc,Tec,Sol,A,per) nombre de passages  
\$INCLUDE oper.mec;

Parameter AH(A) passage heure par ha  
\$INCLUDE TILLHOUR.BEA;

Parameter AQ(Satc,TEC,Sol,A,per) heures de travail du sol par  
mois;  
AQ(Satc,TEC,Sol,A,per)=oper(Satc,TEC,Sol,A,per)\*AH(A);

PARAMETER AP(A) cout d'entretien du materiel  
\$INCLUDE TILLCOST.BEA;

PARAMETER AC(Satc,TEC,Sol,A,per) cout de travail du sol;  
 $AC(Satc,TEC,Sol,A,per)=AQ(Satc,TEC,Sol,A,per)*AP(A)$ ;

SCALAR chmb cout horaire de location moisss-bat  
 /650/;

scalar HPL prix horaire de cession de moisss-bat  
 /0.0/;

SCALAR TRACTP cout horaire de location de tracteur  
 /200/;

scalar TRACTPL prix horaire de cession de tracteur  
 /0.0/;

TABLE PSV(culture,PS) Percentage of price expected

	PS1	PS2	PS3
ble	1.1	0.9	0.8
orge	1.0	1.0	1.0
colza	1.5	2.0	1.5

;

PARAMETER pxcvps(culture,PS,hp);

TABLE PSVA(anix,PS) Percentage of price expected for animals

	PS1	PS2	PS3
vafc	1.00	1.00	1.00
vam	1.00	1.00	1.00
vah	1.00	1.00	1.00
vaf	1.00	1.00	1.00
varm	1.00	1.00	1.00
varc	1.00	1.00	1.00
varh	1.00	1.00	1.00
broo	1.00	1.00	1.00
broe	1.00	1.00	1.00
gar1f	1.00	1.00	1.00
gar1m	1.00	1.00	1.00
gar1h	1.00	1.00	1.00
gar2f	1.00	1.00	1.00
gar2m	1.00	1.00	1.00
gar2h	1.00	1.00	1.00
ta18m	0.96	0.96	0.96
ta18h	0.96	0.96	0.96
ta18b	0.96	0.96	0.96
ta231m	0.87	0.87	0.87
ta231h	0.87	0.87	0.87
ta231f	0.87	0.87	0.87
ta232m	0.87	0.87	0.87
ta232h	0.87	0.87	0.87
ta232b	0.87	0.87	0.87
ba301m	1.00	1.00	1.00
ba301f	1.00	1.00	1.00
ba302m	1.20	1.70	1.50
ba302h	1.20	1.70	1.50
ba302c	1.20	1.70	1.50

;

PARAMETER pxvpSa(anix,PS,hp);

PARAMETER pxapSa(anix,PS,hp);

TABLE PRIMcvii(scop,T,annee) direct subsidy per crop

\$INCLUDE PRIMEcT.mec

;

TABLE PSE(scop,E) percentage of subsidy expected

	E1	E2
ble	1.0	1.0
orge	1.0	1.0
colza	1.0	1.0
jach	1.0	1.0

;

PARAMETER PRIMrisk(scop,T,E,ANNEE) subsidy expected;  
 $PRIMrisk(scop,T,E,ANNEE)=PRIMcvii(scop,T,ANNEE)*pse(scop,E)$ ;

PARAMETER prime(scop,T,e,hp);

PARAMETER ppp(scop,per) month of subsidy paiement  
 /ble.5 1

ORGE.5 1  
 MAIS.5 1  
 COLZA.2 .5  
 COLZA.5 .5  
 JACH.5 1/;

Parameter HT(culture,TEC,Sol,per) selling time per crop;  
 $HT(culture,TEC,Sol,Per)=1$(oper(culture,TEC,Sol,'Harvest',Per)GT 0)$ ;

TABLE PHYTO(satc,TEC,Per)

\$INCLUDE PHYTO.mec

;

PARAMETER chargc(satc,TEC,Sol,Per) cost per crop;  
 $chargc(satc,TEC,Sol,Per)=sum(A,AC(satc,TEC,Sol,A,Per))+sum(LIC(satc,TEC,Sol,I,Per))+PHYTO(satc,TEC,Per)$ ;

PARAMETER TACT(ANNEE)

/91	1
92	0.95
93	0.90
94	0.85
95	0.81
96	0.76
97	0.70
98	0.66/;

PARAMETER CHARGCVi(SATC,TEC,sol,PER,ANNEE);  
 $CHARGCVi(SATC,TEC,sol,PER,ANNEE)=CHARGC(SATC,TEC,sol,PER)*TACT(ANNEE)$ ;

SCALAR PERMW Permanent Labor cost per year

/0/;

SCALAR SEASONW Seasonnal Labor cost per hour

/150/;

SCALAR RW reservation wage for farm labour

/0/;

scalar RWW wage received for renting out farm labour

/0/

;

SCALAR STR short term loan interest rate (paid)

/0.11/;

SCALAR STRR short term loan interest rate (paid) when overdraft

/0.20/;

SCALAR SBK short term (perceived) interest rate

/0.07/;

SCALAR SBK4 short term (perceived) interest rate

/0.04/;

SCALAR LTR long term loan interest rate (paid)

/0.10/;

SCALAR MAXST maximum amount of short term loan allowed per year

/350000/;

SCALAR MAXSTnn maximum amount of short term loann allowed per year

/250000/;

PARAMETER INISAVEss(per,annee) initial financial availability

/1.91 120000/;

PARAMETER inisave(per,hp);

PARAMETER inisaveshp(hp)

/hp1 0/;

scalar FIXED annual fixed costs for labor land machinery

/250000/;

scalar Amort /50 000/;

scalar INICRED initial long term debt(non subsidised)

/500000/;

Scalar RENTP land rent /0/;

Scalar RENTLP land lease /1500/;

PARAMETER MINIM(per,hp) minimum income per period for family

/1.hp1\*hp3 28000,2.hp1\*hp3 16000,3\*4.hp1\*hp3  
20000,5.hp1\*hp3 12000/;

SCALAR PHI risk aversion coefficient /0.17/;

PARAMETER INILARENT(hp) initial land rented /hp1 0/;

PARAMETER INILALEASE(hp) /hp1 0/;

TABLE PRKN(scop,TEC,Sol,N) Nitrate leaching per crop  
technique soil previous crop and year  
\$INCLUDE nit3.mec

;  
TABLE SSF(scop,TEC,Sol,N) Nitrate subsurface flow  
\$include nit2.mec

;  
TABLE YNO(Scop,TEC,Sol,N) Nitrate runoff  
\$include nit1.mec

;  
PARAMETER NITPRK(scop,TEC,Sol) NITRATE  
PERCOLATION ;  
NITPRK(scop,TEC,Sol)=sum(N,PRKN(scop,TEC,Sol,N))/CAR  
D(N);

PARAMETER NITSSF(scop,TEC,Sol) NITRATE SUBSURF ;  
NITSSF(scop,TEC,Sol)=sum(N,SSF(scop,TEC,Sol,N))/CARD(  
N);

PARAMETER NITYNO(scop,TEC,Sol) NITRATE RUNOFF ;  
NITYNO(scop,TEC,Sol)=sum(N,YN0(scop,TEC,Sol,N))/CARD  
(N);

PARAMETER NITTOT(scop,TEC,Sol) TOTAL NITRATE  
LOSS;  
NITTOT(scop,TEC,Sol)=NITPRK(scop,TEC,Sol)+NITSSF(scop  
,TEC,Sol)+NITYNO(scop,TEC,Sol);

PARAMETER NITTOTN(scop,TEC,Sol,N) TOTAL NITRATE  
LOSS PER YEAR;  
NITTOTN(scop,TEC,Sol,N)=PRKN(scop,TEC,Sol,N)+SSF(scop  
,TEC,Sol,N)+YNO(scop,TEC,Sol,N);

PARAMETER CT(culture,Sol,TEC) total cost per crop;  
CT(culture,Sol,TEC)=SUM(per.charge(culture,TEC,Sol,per));

TABLE vaii(anix,per,ANNEE) stock initial des animaux

	91	92	93	94	95	96	97	98
vafc.1	30	0	0	0	0	0	0	0
ba301f.1	7	0	0	0	0	0	0	0
ba302c.1	0	0	0	0	0	0	0	0
ba302m.1	7	0	0	0	0	0	0	0
TA231m.1	3	0	0	0	0	0	0	0
varh.1	0	0	0	0	0	0	0	0
gar2h.1	12	0	0	0	0	0	0	0
gar1h.1	12	0	0	0	0	0	0	0
ta18m.1	11	0	0	0	0	0	0	0

;  
PARAMETER batini(annee)  
/91 600,92 0,93 0,94 0,95 0,96 0,97 0,98 0/

;  
PARAMETER Bathp(hp)  
/hp1 0, hp2 0, hp3 0/;

PARAMETER debhp(anix)  
/vafc 0, vam 0, vah 0, vaf 0, varm 0, varc 0, varh 0, broo 0, broe 0  
, gar1f 0, gar1m 0, gar1h 0, gar2f 0, gar2m 0, gar2h 0, ta18m 0, ta18h  
0  
, ta18b 0, ta231m 0, ta231h 0, ta231f 0, ta232m 0, ta232h 0, ta232b 0  
, ba301m 0, ba301f 0, ba302m 0, ba302h 0, ba302c 0/;

PARAMETER TACTE(ANNEE) actualisation  
/91 1  
92 0.95  
93 0.90  
94 0.85

95 0.85  
96 0.85  
97 0.85  
98 0.85/;

PARAMETER TACTEE(ANNEE) diminution de prix plus  
actualisation

/91 1  
92 0.90  
93 0.81  
94 0.76  
95 0.69  
96 0.63  
97 0.57  
98 0.51/;

PARAMETER PA(ANIX) Poids vif d achat en kg  
\$include pa.mec

;  
TABLE PXAi(ANIX,annee) Prix d achat en F kg vif  
\$INCLUDE pxain.mec

;  
PARAMETER PV(ANIX) Poids vif de vente en kg  
\$include pv.mec

;  
TABLE PXVi(ANIX,annee) Prix de vente en F kg vif  
\$include pxvin.mec

;  
\*ATTENTION DIMINUTION DES PRIX NON COMPRISE  
DANS TACTE  
DISPLAY PXVi;

table DUREE(ANIX,per) Duree d alimentation a l auge en jours  
\$include duree.mec

;  
TABLE FRAISDI(ANIX,PER) Frais divers par animal en F  
\$include fraisdi.mec

;  
PARAMETER SMICi(ANNEE);  
SMICi(ANNEE)=SMI\*TACT(ANNEE);

PARAMETER CABATCi(ANNEE);  
CABATCi(ANNEE)=CABAT\*TACT(ANNEE);

PARAMETER FRAISDIVi(ANIX,PER,ANNEE) actualisation  
de fraisdi;  
FRAISDIVi(ANIX,PER,ANNEE)=FRAISDI(ANIX,PER)\*TAC  
T(ANNEE);

TABLE BHABA(ANIX,PER,ABA) Besoin a l auge des  
animaux  
\$include bhaba.mec

;  
TABLE BHABAP(ANIX,PER,CER) Besoin a l auge en cereales  
\$include bhabap.mec

;  
TABLE PXABAi(ABA,ANNEE) Prix des aliments achetes en  
F:kg

	91	92	93	94	95	96	97	98
TRTX	1.35	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
CMV	4.5	4.27	4.27	4.27	4.27	4.27	4.27	4.27
CCJB	1.6	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52

;  
TABLE PRIMi(ANIX,PER,ANnee)  
\$include primi.mec

;  
table primhi(per,annee)  
91 92 93 94 95 96 97 98  
2 0 0 300 300 300 300 300 300

;  
table primexti(per,annee)  
91 92 93 94 95 96 97 98  
2 0 0 236 236 236 236 236 236

;  
PARAMETER limipaci(annee)  
/91 20,92 20,93 3,94 2.5,95 2,96 2,97 2,98 2/

PARAMETER limiheri(annee)  
/91 20,92 20,93 1,94 1,95 1,96 1,97 1,98 1/

PARAMETER limiexti(annee)  
/91 20,92 20,93 1,4,94 1,4,95 1,4,96 1,4,97 1,4,98 1,4/

TABLE BHFOUR(ANIX,per,FOUR) Besoins a l auge des ax en  
four en kg;j  
\$include bhfour.mec  
;

TABLE RDTFOUR(Sde,TEC,sol,FOUR) Rendement en  
fourrage en kg;ha  
\$include rdtfour.mec  
;

TABLE BPATUR(ANIX,PER) Besoins des animaux en pature  
en UGBtechnique  
\$include bpatur.mec  
;

TABLE RDTPATUR(SFP,TEC,PER) chargement maximum par  
periode en UGBtechnique:ha  
\$include rdtatur.mec  
;

PARAMETER BBAT (ANIX) Besoin en batiment pour animaux  
en m2  
\$include bbat.mec  
;

TABLE TPSTRXA(ANIX,PER) temps de travaux pour les  
animaux en h;jour  
\$include tpstrxa.mec  
;

\*PARAMETER COUti(SFP,PER,ANNEE);  
\*COUti(SFP,PER,ANNEE)=COU(SFP,PER)\*TACT(ANNEE);

TABLE UGB(ANIX,PRIMEs) coefficient UGB herbe et UGB  
européen  
\$include ugb.mec  
;

PARAMETER TPSDISPC(PER)  
/1 50,2 198,4,3 154,4,4 45,56/

\*-----  
-----

**\* parametres lies aux cultures**

TABLE PXCvii(CULTURE,ANNEE) prix de vente par an  
91 92 93 94 95 96 97 98  
colza 198 97 105 100 100 100 100 100  
ble 97 97 85 77 71 71 71 71  
orge 88 88 78 72 66 66 66 66  
;

PARAMETER PXCvi(CULTURE,ANNEE);  
PXCvi(CULTURE,ANNEE)=PXCvii(CULTURE,ANNEE)\*T  
ACTE(ANNEE)  
;

TABLE PXCviii(Cer,ANNEE) prix de vente par an  
91 92 93 94 95 96 97 98  
ble 97 97 85 77 71 71 71 71  
orge 88 88 78 72 66 66 66 66  
;

PARAMETER PXCvii(Cer,ANNEE);  
PXCvii(CER,ANNEE)=PXCviii(CER,ANNEE)\*TACTE(AN  
NEE)  
;

TABLE PXCviii(CER,ANNEE) prix d'achat des cereales pour  
alimentation animale  
91 92 93 94 95 96 97 98  
ble 103 103 90 82 76 76 76 76  
orge 93 93 83 77 71 71 71 71  
;

PARAMETER PXCviii(CER,ANNEE) prix d'achat de cer pour  
aliment animale;  
PXCviii(CER,ANNEE)=PXCviii(CER,ANNEE)\*TACT(AN  
NEE);

PARAMETER PRIMCVi(scop,T,ANNEE) actualisation de  
primcvi;  
PRIMCVi(SCOP,T,ANNEE)=PRIMCVii(SCOP,T,ANNEE)\*T  
ACTE(ANNEE);

PARAMETER obpac(hp) variable fictive pour prime pac  
/hp1\*hp3 1/;

PARAMETER obext(hp) idem obprpac (prime  
extensification)  
/hp1\*hp3 0/;

PARAMETER obher(hp) idem obprpac (prime herbe)  
/hp1\*hp3 0/;

PARAMETER cjach(annee)  
/91 0,92 0,93 0,15,94 0,15,95 0,15,96 0,15,97 0,15,98 0,15/;  
PARAMETER cojach(hp);

\*-----

**\* passage aux horizons de planification (ou de maximisation)**

PARAMETER bat(hp);  
PARAMETER vai(anix,per,hp);  
PARAMETER pxa(anix,hp);  
PARAMETER pxv(anix,hp);  
PARAMETER smic(hp);  
PARAMETER cabatc(hp);  
PARAMETER fraisdiv(anix,per,hp);  
PARAMETER pxaba(aba,hp);  
PARAMETER prim(anix,per,hp);  
PARAMETER primh(per,hp);  
PARAMETER primext(per,hp);  
PARAMETER limipac(hp);  
PARAMETER limiher(hp);  
PARAMETER limiext(hp)  
PARAMETER pxcv(culture,hp);  
PARAMETER pxcvv(cer,hp);  
PARAMETER pxcva(cer,hp);  
PARAMETER primcv(scop,T,hp);

**VARIABLES**

Z1 revenu  
Zhp1 revenu de hp1  
revcul(hp)  
revanx(hp)  
sau(hp)  
PT(HP) prairie temporaire implantes sur terres  
labourables  
BATI(HP) surface disponible en m2  
BATC(HP) surface en m2 de batiment construit  
MOSUP(PER,HP) nombre d heures supplementaires salaries  
par jour  
HFLT(per,hp) uth+salp utilises pour tracteur  
HFLS(per,hp) uth+salp utilises pour supervision et animaux  
HFH(per,hp) uth+salp utilises pour recolte  
HFLL(per,hp) uth+salp cedes  
HARV(Per,hp)  
TRACT(Per,hp)  
HARVL(Per,hp)  
TRACTL(per,HP)  
stk d(anix,per,hp) stk debut de periode  
stkdeb(anix,per,hp) stk debut d'annee  
NB(ANIX,per,HP) effectif par periode pour chaque categorie  
d'animaux  
VEN(ANIX,per,HP) nombre d animaux par cat calcul des  
ventes  
ACH(ANIX,per,HP) nombre d animaux par cat calcul des  
achats  
X(satc,S,T,hp) nombre d hectare par production SFP  
stkcer(cer,per,hp)  
conc(aba,per,hp)  
bcerauto(cer,per,hp) cereales stockees  
CEACH(cer,per,HP) cereales achetes pour l alimentation  
animale  
ugbpac(hp) total UGB pac  
ugbherbe(hp) total UGB herbe

primeva(per,hp) prime vaches allaitantes  
 privarisk(per,e,hp) prime vaches allaitantes  
 primebov(per,hp) prime bovins males  
 pribovrisk(per,e,hp) prime bovins males  
 primeher(per,hp) prime herbe  
 \*priherrisk(per,e,hp) prime herbe avec risque  
 primeext(per,hp) prime extensification  
 \*priextrisk(per,e,hp) prime extensification avec risque  
 LANDRENT(hp)  
 LANDLEASE(hp)  
 ha(s,hp)  
 inisaves(per,hp)  
 somempt(per,hp)  
 somemtpn(per,hp)  
 somend(per,hp)  
 somendr(per,hp)  
 somendn(per,hp)  
 somendrr(per,hp)  
 sosave(per,hp)  
 loan(per,hp)  
 loann(per,hp)  
 loanr(per,hp)  
 loanrr(per,hp)  
 intot(per,hp)  
 debtover(hp)  
 save(per,hp)  
 save4(per,hp)  
 somsave(per,hp)  
 intotp(per,hp)  
 intotp4(per,hp)  
 nitloss(hp)  
 nitlosn(n,hp)  
 cashp(per,hp)  
 cash(per,hp)  
 dev(n,e,ps,hp)  
 lbd(hp)  
 ;  
 POSITIVE VARIABLE  
 nb,PT,BATC,BATI,MOSUP,hflt,hfls,hfh,hflj,harv,tract,harvi,tracti,  
 landrent,landlease,ha,somempt,somemtpn,loan,loann,loanr,loanrr,  
 intot,  
 intotp,inisaves,save,save4,somsave,sommsave,intotp,debtover,nitl  
 oss,nitlosn,  
 stkdeb,X,CEACH,bcerauto,ugbpac,ugbherbe,primeva,primebov,p  
 rimeher,  
 primeext,VEN,ACH,stk,stkcer,conc  
 cash,sau,nb  
 ;  
 \*-----

#### EQUATIONS

REVENU1 fonction objectif somme marge brute  
 revcu(hp)  
 reveanx(hp)  
 revenuhp1  
 sph(HP) surface produisant de l herbe PP+PT  
 pde(hp) surface destinee a l elevage  
 TERRE(s,HP) contrainte de SAU  
 eqstkcer(hp)  
 eqsurf(cer,hp)  
 eqceraut(cer,hp) stockage de cereales  
 istkcer(cer,per1245,hp)  
 EQCER(cer,per,HP) bilan de consommation de cereales  
 prod et achetees  
 EQFOUR(FOUR,HP) adequation besoin et recolte par  
 fourrage  
 eqconc(aba,per,hp) besoin en concentres  
 PATURE(PER,HP) besoin et production de pature par  
 saison  
 EQBATI(HP) capacite de logement  
 EQBAT(PER,HP) besoin et capacite des batiments  
 EQTRX(PER,HP) besoin et disponibilite en main d oeuvre  
 HARVEST(Per,hp)  
 TRACTOR(Per,hp)  
 TRACTOR(Per,hp)

FARMLAB(per,hp)  
 LANDRLIMIT(hp)  
 LANDLLIMIT(hp)  
 RENVACHE(HP) renouvellement minimum stock de  
 vaches allaitantes  
 stk1(anix) passage per 5 a per 1  
 stk2(anix) passage per 5 a per 1  
 inistk(anix) initialisation stkdeb de l annee 93  
 stkde2(anix,hp) stk debut de periode 2  
 stkde3(anix,hp) stk debut de periode 3  
 stkde4(anix,hp)  
 effva(per1234,hp)  
 effva(per1234,hp) effectif va periode 1 2 3 4  
 efva(per5,hp) effectif va periode 5  
 efvar(per5,hp) effectif var periode 5  
 effvar(hp) effectif var periode 4  
 venvar(hp) vente de var fin per 1  
 effbroo(per1234,hp)  
 effbroe(per1234,hp)  
 effgar1(per1234,hp)  
 efgar1(per5,hp)  
 vengar2(hp)  
 minigar1(hp)  
 minigar2(hp)  
 effgar2(per1234,hp)  
 efgar2(per5,hp)  
 males(per5,hp)  
 ehta18(per12,hp)  
 venta18(per5,hp)  
 ehta231(per1234,hp)  
 ehta232(per5,hp)  
 venta232(per5,hp)  
 effba301(per1234,hp)  
 efa302(per5,hp)  
 effba302(per12,hp)  
 venba302(per5,hp)  
 totugb(hp) total UGB pac  
 charpac(hp) chargement pac  
 charext(hp) chargement pac  
 tougb(hp) total UGB herbe  
 charher(hp) chargement herbe  
 primva(per,hp) prime vaches allaitantes  
 prvarisk(per,e,hp) prime vaches allaitantes  
 primbov(per,hp) prime bovins males  
 prbovrisk(per,e,hp) prime bovins males  
 primher(per,hp) prime herbe  
 priext(per,hp) prime extensification  
 EQGEL(s,hp) contrainte de gel  
 rota(hp)  
 STCREDIT(hp)  
 STCREDITmn(hp)  
 rembourm(per,hp)  
 rembourmn(per,hp)  
 LOANRE(hp)  
 LOANRrE(hp)  
 eqha(s,hp)  
 isau  
 eqinila(hp)  
 eqlease(hp)  
 somemp(per,hp)  
 somem1(hp)  
 somem2(hp)  
 somem3(hp)  
 somem4(hp)  
 somem5(hp)  
 somemr1(hp)  
 somemr2(hp)  
 somemr3(hp)  
 somemr4(hp)  
 somemr5(hp)  
 somempn(per,hp)  
 somemn1(hp)  
 somemn2(hp)  
 somemn3(hp)  
 somemn4(hp)  
 somemn5(hp)

somemrn1(hp)  
somemrn2(hp)  
somemrn3(hp)  
somemrn4(hp)  
somemrn5(hp)  
TOTINT(per, hp)  
OVERDEBT(hp)  
sosavei1(hp)  
sosavei2(hp)  
sosavei3(hp)  
sosavei4(hp)  
sosavei5(hp)  
somsav(per, hp)  
eqisave(hp)  
TOTINTP(per, hp)  
TOTINTP4(per, hp)  
NITRAK(hp)  
NITRAKN(N, hp)  
risk(n, e, ps, hp)  
lambda(hp)  
cashdp1(hp)  
cashdp2(hp)  
cashdp3(hp)  
cashdp4(hp)  
cashdp5(hp)  
CASHFLOW(peR, hp)  
;

**\* calcul du revenu**  
revenu1 .. sum((culture, S, T, per, hp), Y(culture, T, S)  
  
\*PXCv(culture, hp)\*HT(culture, T, S, peR)\*X(culture, S, T, hp)  
+sum((scop, S, T, per, hp), PRIMcv(scop, T, hp)  
\*Ppp(scop, peR) \*X(scop, S, T, hp))  
  
+SUM((ANIX, per, hp), PV(ANIX)\*PXV(ANIX, HP)\*VEN(ANIX, per, HP))  
-  
SUM((ANIX, per, hp), PA(ANIX)\*PXA(ANIX, HP)\*ACH(ANIX, per, HP))  
+sum((per, hp), primeva(per, hp))  
+sum((per, hp), primebov(per, hp))  
+sum((per, hp), primeext(per, hp))  
+sum((per, hp), primeher(per, hp))  
-  
SUM((ANIX, per, hp), FRAISDIV(ANIX, PER, HP)\*NB(ANIX, per, HP))  
-  
SUM((CER, per, hp), CEACH(CER, per, HP)\*PXCVA(CER, HP))  
-sum((aba, per, hp), conc(aba, per, hp)\*pxaba(aba, hp))  
-SUM(hp, BATC(HP) \* CABATC(HP))  
-sum((Cer, per, hp), stkcer(cer, per, hp)\*PXCv(Cer, HP))  
\* RECEIPTS + SUBSIDIES PER MONTH  
-sum((satc, S, T, per, hp), charge(satc, T, S, Per)  
\*X(satc, S, T, hp))  
-sum((per, hp), HARV(Per, hp)\*chmb)  
-sum((per, hp), mosup(Per, hp)\*smic(hp))  
-sum((per, hp), TRACT(Per, hp)\*TRACTP)  
+sum((per, hp), HARVI(Per, hp)\*HPL)  
+sum((per, hp), HFLL(peR, hp)\*RWW)  
+sum((per, hp), TRACTL(peR, hp)\*TRACTPL)  
\* monthly COSTS MONTHLY RECEIPTS FROM RENTING OUT  
-sum(per, salp\*PermW\*nbj(per)/365\*card(hp))  
-  
sum((per, hp), (INILARENT(hp)+LANDRENT(hp))\*RENTP  
\*nbj(per)/365)  
  
+sum((per, hp), (INILALEASE(hp)+LANDLEASE(hp))\*RENTLP  
\*nbj(per)/365)  
-sum(per, (((LTR/2)\*INICRED+FIXED))\*nbj(per)/365  
\*card(hp))  
\* ANNUAL COSTS DIVIDED PER MONTH  
-sum((per, hp), intot(per, hp))  
+sum((per, hp), intotp(per, hp))

+sum((per, hp), intotp4(per, hp))  
-sum(hp, phi\*lbd(hp))  
=e= z1;

**\* marge culture**

revcu(hp) .. sum((culture, S, T, per), Y(culture, T, S)

\*PXCv(culture, hp)\*HT(culture, T, S, peR)\*X(culture, S, T, hp)  
+sum((scop, S, T, per), PRIMcv(scop, T, hp)  
\*Ppp(scop, peR) \*X(scop, S, T, hp))  
-sum((culture, S, T, per), charge(culture, T, S, Per)  
\*X(culture, S, T, hp))=e= revcul(hp);

**\* marge elevage**

reveanx(hp)  
SUM((ANIX, per), PV(ANIX)\*PXV(ANIX, HP)\*VEN(ANIX, per, HP))  
-  
SUM((ANIX, per), PA(ANIX)\*PXA(ANIX, HP)\*ACH(ANIX, per, HP))  
-sum((sfp, S, T, per), charge(sfp, T, S, Per)\*X(sfp, S, T, hp))  
+sum((per), primeva(per, hp))  
+sum((per), primebov(per, hp))  
+sum((per), primeext(per, hp))  
+sum((per), primeher(per, hp))  
-  
SUM((ANIX, per), FRAISDIV(ANIX, PER, HP)\*NB(ANIX, per, HP))

-  
SUM((CER, per), CEACH(CER, per, HP)\*PXCVA(CER, HP))  
-sum((aba, per), conc(aba, per, hp)\*pxaba(aba, hp))  
-BATC(HP) \* CABATC(HP)  
-sum((Cer, per), stkcer(cer, per, hp)\*PXCv(Cer, HP))  
=e= revanx(hp);

**\* revenu de l'année en cours**

revenu1 .. sum((culture, S, T, per), Y(culture, T, S)

\*PXCv(culture, 'hp1')\*HT(culture, T, S, peR)\*X(culture, S, T, 'hp1')  
+sum((scop, S, T, per), PRIMcv(scop, T, 'hp1')\*Ppp(scop, peR)  
\*X(scop, S, T, 'hp1'))  
+SUM((ANIX, per), PV(ANIX)\*PXV(ANIX, HP1)\*VEN(ANIX, per, HP1))  
-  
SUM((ANIX, per), PA(ANIX)\*PXA(ANIX, HP1)\*ACH(ANIX, per, HP1))  
+sum(per, primeva(per, 'hp1'))  
+sum(per, primebov(per, 'hp1'))  
+sum(per, primeext(per, 'hp1'))  
+sum(per, primeher(per, 'hp1'))  
-  
SUM((ANIX, per), FRAISDIV(ANIX, PER, HP1)\*NB(ANIX, per, HP1))  
-  
SUM((CER, per), CEACH(CER, per, HP1)\*PXCVA(CER, HP1))  
-sum((aba, per), conc(aba, per, hp1)\*pxaba(aba, hp1))  
-(BATC(HP1) \* CABATC(HP1))  
-sum((Cer, per), stkcer(cer, per, hp1)\*PXCv(Cer, HP1))

\* RECEIPTS + SUBSIDIES PER MONTH  
-sum((satc, S, T, per), charge(satc, T, S, Per)  
\*X(satc, S, T, 'hp1'))  
-sum(per, HARV(Per, 'hp1')\*chmb)  
-sum(per, mosup(Per, 'hp1')\*smic('hp1'))  
-sum(per, TRACT(Per, 'hp1')\*TRACTP)  
+sum(per, HARVI(Per, 'hp1')\*HPL)  
+sum(per, HFLL(peR, 'hp1')\*RWW)  
+sum(per, TRACTL(peR, 'hp1')\*TRACTPL)  
\* monthly COSTS MONTHLY RECEIPTS FROM RENTING OUT  
-sum(per, salp\*PermW\*nbj(per)/365)  
-  
sum(per, (INILARENT('hp1')+LANDRENT('hp1'))\*RENTP  
\*nbj(per)/365)  
  
+sum(per, (INILALEASE('hp1')+LANDLEASE('hp1'))\*RENTLP  
\*nbj(per)/365)  
-sum(per, (((LTR/2)\*INICRED+FIXED))\*nbj(per)/365  
\*card(hp))

+sum(per,(INILALEASE('hp1')+LANDLEASE('hp1'))\*RENTL  
P  
\*nbj(per)/365)

sum(per,(((1/10+LTR/2)\*INICRED+FIXED+AMORT))\*nbj(per)  
/365)

\* ANNUAL COSTS DIVIDED PER MONTH

-sum(per,intot(per,'hp1'))  
+sum(per,intotp(per,'hp1'))  
+sum(per,intotp4(per,'hp1'))  
\*  
- phi\*lb('hp1')  
=e= zhp1;

\* calcul des surfaces en herbe pour determiner PT

sph(HP) .. SUM((SFP,s,t),X(sfp,S,T,HP))  
- PP-SUM((EM,s,t),X(EM,s,t,HP))-PT(HP) =l= eps;

\* surfaces destinees a l'elevage (ble-orge : paille)

Pde(HP) .. SUM((sde,s,t),X(sde,s,t,HP))  
=e= PP+SUM((EM,s,t),X(EM,s,t,HP))+PT(HP)  
+sum((s,t),x('ble',s,t,HP)+x('orge',s,t,HP));

\* besoins de fourrages a l'auge

EQFOUR(FOUR,HP)  
SUM((ANIX,per),(BHFOUR(ANIX,per,FOUR)\*NB(ANIX,per,  
HP)\*DUREE(ANIX,per)))

=L=SUM((sde,s,t),RDTFOUR(sde,t,s,FOUR)\*X(Sde,s,t,HP));

\* besoins des animaux en cmv, trtx

eqconcl(aba,per,HP)  
sum(anix,(bhaba(anix,per,aba)\*nb(anix,per,HP)\*duree(anix,per))  
=e= concl(aba,per,HP);

\* equation bilan cereales achat et autocons

EQCER(cer,per,HP) .. SUM(ANIX,BHABAP(ANIX,PER,CER)  
\*NB(ANIX,per,HP)\*DUREE(ANIX,per)) =L=  
bcerauto(cer,per,HP)\*100+CEACH(CER,per,HP)\*100;

\* equation stockage de cereales

eqceraut(cer,HP) .. sum(per,bcerauto(cer,per,HP)) =e=  
stkcer(cer,'3',HP);  
eqstkcer(HP) .. sum(cer,stkcer(cer,'3',HP)) =l= castkcer;  
istkcer(cer,per1245,HP) .. stkcer(cer,per1245,HP) =e= 0;

stkcer.up(cer,per1245,HP) = 0;

eqsurf(cer,HP) .. stkcer(cer,'3',HP) =l=  
sum((per,s,t),x(cer,s,t,HP)\*Y(cer,T,S));

\* contrainte en besoins paturage pour printemps:ete:automne  
PATURE(PER,HP)

SUM(ANIX,(BPATUR(ANIX,PER)\*NB(ANIX,per,HP)))

=L=SUM((SFP,s,t),RDTPATUR(SFP,t,PER)\*X(SFP,s,t,HP));

\* contrainte disponibilite en batement

EQBAT(PER,HP)..  
SUM(ANIX,BBAT(ANIX)\*NB(ANIX,per,HP)) =L= BATI(HP);  
EQBATI(HP) .. BATI(HP) =e= BATI(HP-  
1)+BATC(HP)+bat(HP)+bathp(HP);

\* contraintes temps de travail global

EQTRX(PER,HP)  
SUM(ANIX,TPSTRXA(ANIX,PER)\*NB(ANIX,per,HP)\*nbj(per  
r))

=L=HFLS(Per,HP)+mosup(Per,HP)-HFL(Per,HP)

SUM((satc,t,m,s),aq(satc,t,s,m,per)\*X(SATC,s,t,HP)\*time);

HARVEST(Per,HP) ..  
Sum((satc,T,S),AQ(satc,T,S,HARVEST,Per)\*X(satc,S,T,HP)\*TI  
ME)

=L= HFH(Per,HP)+HARV(Per,HP)-

HARVL(Per,HP);

TRACTOR(Per,HP)  
SUM((satc,T,B,S),AQ(satc,T,S,B,Per)\*X(satc,S,T,HP)\*TIME)  
=L= HFLT(Per,HP)+TRACT(Per,HP)-  
TRACTL(per,HP);

FARMLAB(per,HP) ..  
HFLT(per,HP)+HFLS(per,HP)+HFH(per,HP)  
=L=HFL(per)-HFL(Per,HP);

\* contrainte de renouvellement du troupeau

RENVACHE(HP) .. SUM(VAr,stk(VAr,'5',HP))  
=g= SUM(VA,NB(VA,'4',HP))\*TXREFORM;  
stkdeb.up(anix,per2345,HP) = 0;

\* stock debut de periode

stk.up(anix,'1',HP) = 0;  
stk2(anix,HP) .. stk(anix,'2',HP) =e= nb(anix,'1',HP);  
stk3(anix,HP) .. stk(anix,'3',HP) =e= nb(anix,'2',HP);  
stk4(anix,HP) .. stk(anix,'4',HP) =e= nb(anix,'3',HP);

\* passage per 5 a per 1

stk1(anix) .. stkdeb(anix,'1',HP2) =e= nb(anix,'5',HP1);  
stk2(anix) .. stkdeb(anix,'1',HP3) =e= nb(anix,'5',HP2);  
inistk(anix) .. stkdeb(anix,'1',HP1) =e= debhp(anix);

\* effectif vaches par periode

effva(per1234,HP) .. SUM(VA,NB(va,per1234,HP))  
=e=  
SUM(VA,VAI(VA,per1234,HP))+sum(va,stkdeb(va,per1234,HP))  
+sum(va,stk(va,per1234,HP));

efva(per5,HP) .. sum(va,nb(va,per5,HP)) =e= sum(va,nb(va,'4',HP))  
-SUM(VAR,stk(VAR,per5,HP))  
+SUM(VA,ACH(va,per5,HP))  
+sum(gar2,nb(gar2,'4',HP))  
+sum(gar2,ach(gar2,per5,HP))-  
sum(gar2,ven(gar2,'4',HP));  
ven.up(va,per1235,HP) = 0;  
ach.up(va,per1234,HP) = 0;

\* effectif vaches reformes

effvar(HP) .. SUM(VAR,NB(var,'1',HP))  
=e=  
SUM(VAR,VAI(VAR,'1',HP))+sum(var,stkdeb(var,'1',HP))  
+sum(var,stk(var,'1',HP));

efvar(per5,HP) .. sum(var,nb(var,per5,HP))  
=e= sum(var,stk(var,'5',HP))-sum(va,ven(va,'4',HP))  
+sum(var,ach(var,'5',HP));

venvar(HP) .. sum(var,ven(var,'1',HP))  
- sum(var,nb(var,'1',HP)) =e= 0;

nb.up(var,per234,HP) = 0;  
ven.up(var,per2345,HP) = 0;  
ach.up(var,per1234,HP) = 0;

\* effectif broutards

effbroo(per1234,HP) .. nb('broo',per1234,HP) =e=  
stk('broo',per1234,HP)

+sum(va,stkdeb(va,per1234,HP)+vai(va,per1234,HP))\*txpn\*0.5;  
ven.up('broo',per1235,HP) = 0;  
nb.up('broo',per5,HP) = 0;  
ach.up('broo',per1235,HP) = 0;

effbroe(per1234,HP) .. nb('broe',per1234,HP) =e=  
stk('broe',per1234,HP)

+sum(va,stkdeb(va,per1234,HP)+vai(va,per1234,HP))\*txpn\*0.5;  
ven.up('broe',per1235,HP) = 0;  
nb.up('broe',per5,HP) = 0;

ach.up('broe',per1235,hp) = 0;

**\*effectif genisses1 (gar1)**  
 effgar1(per1234, hp) .. sum(gar1,nb(gar1,per1234, hp))  
 =e= sum(gar1,stkdeb(gar1,per1234, hp))

+sum(gar1,vai(gar1,per1234, hp))+sum(gar1,stk(gar1,per1234, hp));  
 efgar1(per5, hp) .. sum(gar1,nb(gar1,per5, hp)) =e=  
 nb('broe', '4', hp) -ven('broe', '4', hp)+ach('broe',per5, hp);

minigar1(hp)..ven('broe', '4', hp) =l=  
 nb('broe', '4', hp)-SUM(VA,NB(VA, 'S', HP))\*0.24;

minigar2(hp)..sum(gar1,ven(gar1, '4', hp)) =l=  
 sum(gar1,nb(gar1, '4', hp)) -SUM(VA,NB(VA, 'S', HP))\*0.24;

ven.up(gar1,per1235, hp) = 0;  
 ach.up(gar1,per1235, hp) = 0;

**\*effectif genisses2 (gar2)**  
 effgar2(per1234, hp) .. sum(gar2,nb(gar2,per1234, hp))  
 =e= sum(gar2,stkdeb(gar2,per1234, hp))

+sum(gar2,vai(gar2,per1234, hp))+sum(gar2,stk(gar2,per1234, hp));  
 efgar2(per5, hp) .. sum(gar2,nb(gar2,per5, hp)) =e=  
 sum(gar1,nb(gar1, '4', hp)) -

sum(gar1,ven(gar1, '4', hp))+sum(gar1,ach(gar1,per5, hp));  
 vengar2(hp) .. sum(gar2,ven(gar2, '4', hp)) =l=  
 sum(gar2,nb(gar2, '4', hp));  
 ven.up(gar2,per1235, hp) = 0;  
 ach.up(gar2,per1235, hp) = 0;

**\*repartition des broutards en ta18+ta231+ba301**  
 males(per5, hp) .. nb('broo', '4', hp)-ven('broo', '4', hp)  
 +ach('broo',per5, hp) =e= sum(ta231,nb(ta231,per5, hp))

+sum(ba301,nb(ba301,per5, hp))+sum(ta18,nb(ta18,per5, hp));

**\* taurillon 18 mois**  
 cfta18(per12, hp) .. sum(ta18,nb(ta18,per12, hp))  
 =e= sum(ta18,stkdeb(ta18,per12, hp))

+sum(ta18,vai(ta18,per12, hp))+sum(ta18,stk(ta18,per12, hp));  
 venta18(per5, hp) .. sum(ta18,nb(ta18, '2', hp))  
 -sum(ta18,ven(ta18, '2', hp)) =e= 0;

nb.up(ta18,per34, hp) = 0;  
 ach.up(ta18,per, hp) = 0;  
 ven.up(ta18,per1345, hp) = 0;

**\*taurillon 23 mois**  
 effta231(per1234, hp) .. sum(ta231,nb(ta231,per1234, hp))  
 =e= sum(ta231,stkdeb(ta231,per1234, hp))

+sum(ta231,vai(ta231,per1234, hp))+sum(ta231,stk(ta231,per1234, hp));  
 ven.up(ta231,per, hp) = 0;  
 ach.up(ta231,per, hp) = 0;

effta232(per5, hp) .. sum(ta232,nb(ta232,per5, hp))  
 =e= sum(ta231,nb(ta231, '4', hp));  
 venta232(per5, hp) .. sum(ta232,nb(ta232,per5, hp)) =e=  
 sum(ta232,ven(ta232, 'S', hp));

nb.up(ta232,per1234, hp) = 0;  
 ven.up(ta232,per1234, hp) = 0;  
 ach.up(ta232,per, hp) = 0;

**\*boeuf de 30 mois**  
 effba301(per1234, hp) .. sum(ba301,nb(ba301,per1234, hp))  
 =e= sum(ba301,stkdeb(ba301,per1234, hp))

+sum(ba301,vai(ba301,per1234, hp))+sum(ba301,stk(ba301,per1234, hp));

ven.up(ba301,per1235, hp) = 0;  
 ach.up(ba301,per1235, hp) = 0;  
 effba302(per5, hp) .. sum(ba302,nb(ba302,per5, hp))  
 =e= sum(ba301,nb(ba301, '4', hp))+ach(ba301,per5, hp)  
 -ven(ba301, '4', hp));  
 effba302(per12, hp) .. sum(ba302,nb(ba302,per12, hp))  
 =e= sum(ba302,stkdeb(ba302,per12, hp))

+sum(ba302,vai(ba302,per12, hp))+sum(ba302,stk(ba302,per12, hp));  
 venba302(per5, hp) .. sum(ba302,ven(ba302, '2', hp)) =e=  
 sum(ba302,nb(ba302, '2', hp));  
 nb.up(ba302,per34, hp) = 0;  
 ven.up(ba302,per1345, hp) = 0;  
 ach.up(ba302,per1235, hp) = 0;

**\*total des UGB PAC**  
 totugb(hp) .. ugbpac(hp) =e=  
 sum(anix,nb(anix, '1', hp)\*ugb(anix, 'pac'));  
 charpac(hp) .. limipac(hp)\*SUM((SFP,s,t),X(SFP,s,t,HP))  
 =g= ugbpac(hp)\*obpac(hp);  
 charext(hp) .. limiext(hp)\*SUM((SFP,s,t),X(SFP,s,t,IIP))  
 =g= ugbpac(hp)\*obext(hp);

**\*total des UGB HERBE**  
 tougb(hp) .. ugbherbe(hp) =e=  
 sum(anix,nb(anix, '1', hp)\*ugb(anix, 'herbe'));  
 charher(hp) .. limiher(hp)\*SUM((SFP,s,t),X(SFP,s,t,HP))  
 =g= ugbherbe(hp)\*obher(hp);

Parameter PSEAVA(e)  
 /e1 1.00,e2 1.00/;

Parameter PSEABOV(e)  
 /e1 1.00,e2 1.00/;

**\*prime vache allaitante**  
 primva(per, hp) .. primeva(per, hp)  
 =e=  
 (sum(va,nb(va, '1', hp)\*prim(va,per, hp)\*obpac(hp)));

prvarisk(per, e, hp) .. prvarisk(per, e, hp)  
 =e=  
 (sum(va,nb(va, '1', hp)\*prim(va,per, hp)\*pscava(e)\*obpac(hp)));

**\*prime bovins males**  
 primbov(per, hp) .. primebov(per, hp)  
 =e=  
 (sum(bov,nb(bov, '1', hp)\*prim(bov,per, hp)\*obpac(hp)));

prbovrisk(per, e, hp) .. prbovrisk(per, e, hp)  
 =e=  
 (sum(bov,nb(bov, '1', hp)\*prim(bov,per, hp)\*pseabov(e)\*obpac(hp))

);

**\*prime herbe**  
 primher(per, hp) .. primeher(per, hp)  
 =e= (pp+pt(hp))\*primh(per, hp)\*obher(hp);

**\*prime extensification**  
 priext(per, hp) .. primeext(per, hp) =e=  
 (sum(bov,nb(bov, '1', hp))+sum(va,nb(va, '1', hp))  
 \*obext(hp))\*primext(per, hp);

---

**\* contraintes de la SAU**  
 \*isau.. sau =e= sum((satc,s,T, hp),X(satc,S,T, hp));  
 isau(hp).. sau(hp) =e= sum((s),ha(s, hp));  
 eqha(s, hp) .. ha(S, hp) =e= hai(s, hp)  
 +hahp(s, hp)  
 +sum((satc,T),X(satc,S,T, hp-1));  
 terre(S, hp) .. SUM((satc,T),X(satc,S,T, hp))  
 =L= HA(S, hp)  
 \*(1+(LANDRENT(hp)-  
 LANDLEASE(hp))/SAUi);

LANDRLIMIT(hp) .. LANDRENT(hp) =L=0;  
 LANDLLIMIT(hp) .. LANDLEASE(hp) =L= SAUi\*0.99;

LANDRENT.lo(hp) =0;  
 LANDRENT.up(hp) =0;  
 LANDLEASE.lo(hp) =0;  
 LANDLEASE.up(hp) =0;

eqinila(hp) .. INILARENT(hp)=e=INILARENT(hp-1)+LANDRENT(hp);  
 eqlease(hp) .. INILALEASE(hp)=e=INILALEASE(hp-1)+LANDLEASE(hp);

rota(hp)  
 sum((s,t),x('colza',s,t,hp))=l=sum((scop,s,t),x(scop,s,t,hp))\*0.33;

**\*contrainte de gel**

EQGEL(s,Hp) .. sum((t),X('jach',s,t,Hp)) =E=  
 SUM((SCOP,t),X(SCOP,S,T,Hp))\*cojach(hp) ;

**\* emprunt max autorise**

STCREDIT(hp) .. sum(Per,LOAN(Per,hp)) =L= MAXST;  
 stcreditnn(hp) .. sum(per,loan(per,hp)) =l= maxstnn;

**\*remboursement emprunts ct dans l annee**

LOANRE(hp).. SUM(per,LOAN(per,hp)-LOANR(per,hp)) =L=  
 EPS;  
 LOANRE(hp).. SUM(per,LOAN(per,hp)-LOANR(per,hp))  
 =L= EPS;

**\*remboursement<emprunt**

rembourn(per,hp) .. loanr(per,hp) =l= somempt(per,hp);  
 rebournn(per,hp) .. loanrr(per,hp) =l= somemprn(per,hp);

somemp(per,hp) .. somempt(per,hp) =e=  
 loan(per,hp)+somentd(per,hp)  
 -somentdr(per,hp);

somem1(hp) .. somend('1',hp) =e= 0;  
 somem2(hp) .. somend('2',hp) =e= somempt('1',hp);  
 somem3(hp) .. somend('3',hp) =e= somempt('2',hp);  
 somem4(hp) .. somend('4',hp) =e= somempt('3',hp);  
 somem5(hp) .. somend('5',hp) =e= somempt('4',hp);  
 somemr1(hp) .. somendr('1',hp) =e= 0;  
 somemr2(hp) .. somendr('2',hp) =e= loanr('1',hp);  
 somemr3(hp) .. somendr('3',hp) =e= loanr('2',hp);  
 somemr4(hp) .. somendr('4',hp) =e= loanr('3',hp);  
 somemr5(hp) .. somendr('5',hp) =e= loanr('4',hp);

somempn(per,hp) .. somemprn(per,hp) =e=  
 loann(per,hp)+somentdn(per,hp)  
 -somentdr(per,hp);

somemn1(hp) .. somendn('1',hp) =e= 0;  
 somemn2(hp) .. somendn('2',hp) =e= somemprn('1',hp);  
 somemn3(hp) .. somendn('3',hp) =e= somemprn('2',hp);  
 somemn4(hp) .. somendn('4',hp) =e= somemprn('3',hp);  
 somemn5(hp) .. somendn('5',hp) =e= somemprn('4',hp);  
 somemrn1(hp) .. somendrr('1',hp) =e= 0;  
 somemrn2(hp) .. somendrr('2',hp) =e= loanrr('1',hp);  
 somemrn3(hp) .. somendrr('3',hp) =e= loanrr('2',hp);  
 somemrn4(hp) .. somendrr('4',hp) =e= loanrr('3',hp);  
 somemrn5(hp) .. somendrr('5',hp) =e= loanrr('4',hp);

**\* interets payes par periode**

TOTINT(per,hp) .. somempt(per,hp)\*STR\*nbj(per)/365  
 +somemprn(per,hp)\*STRR\*nbj(per)/365 =E=  
 INTOT(per,hp);

OVERDEBT(hp) .. SUM(per,LOANN(per,hp)) =E=  
 DEBTOVER(hp);

sosavei1(hp) .. sosave('1',hp)=e=0;  
 sosavei2(hp) .. sosave('2',hp)=e=somsave('1',hp);  
 sosavei3(hp) .. sosave('3',hp)=e=somsave('2',hp);  
 sosavei4(hp) .. sosave('4',hp)=e=somsave('3',hp);

sosavei5(hp) .. sosave('5',hp)=e=somsave('4',hp);  
 somsav(per,hp) .. somsave(per,hp) =e=  
 save(per,hp)+sosave(per,hp);

**\* interets recus par periode**

TOTINTP(per,hp) .. somSAVE(per,hp)\*SBK  
 \*nbj(per)/365 =E=INTOTP(per,hp);  
 totintp4(per,hp) ..  
 intotp4(per,hp)=e=save4(per,hp)\*sbk4\*nbj(per)/365;

NITRAK(hp)  
 SUM((scop,T,S),NITTOT(scop,T,S)\*X(scop,S,T,hp))  
 =E= NITLOSS(hp);  
 NITRAKN(N,hp)..SUM((scop,T,S),NITTOTN(scop,T,S,'Y5')  
 \*X(scop,S,T,hp)) =E= NITLOSNN(hp);

eqisave(hp) .. INISAVEs('1',hp) =e=  
 inisave('1',hp)+somSAVE('5',hp-1)  
 +save4('5',hp-1)+inisaves(hp) + CASH('5',hp-1);

inisaves.lo(per2345,hp) = 0;  
 inisaves.up(per2345,hp) = 0;

**\* risque**

risk(n,e,ps,hp) .. SUM((Culture,S,T,peR),YN(Culture,T,S,N)  
 \*pxcvPS(Culture,PS,hp)\*HT(Culture,T,S,peR)\*X(Culture,S,T,hp))  
 +sum((scop,S,T,per),PRIME(scop,T,e,hp)  
 \*Ppp(scop,peR) \*X(scop,S,T,hp))

+SUM((ANIX,per),PV(ANIX)\*PXVPSA(ANIX,ps,HP)\*VEN(A  
 NIX,per,HP))  
 -  
 SUM((ANIX,per),PA(ANIX)\*PXAPSA(ANIX,ps,HP)\*ACH(AN  
 IX,per,HP))

+sum((per),privarisk(per,e,hp))  
 +sum((per),pribovrisk(per,e,hp))  
 +sum((per),primeest(per,hp))  
 +sum((per),primeher(per,hp))  
 -  
 SUM((ANIX,per),FRAISDIV(ANIX,PER,HP)\*NB(ANIX,per,H  
 P))

-  
 SUM((CER,per),CEACH(CER,per,HP)\*PXCVA(CER,HP))  
 -sum((aba,per),conca(aba,per,hp)\*pxaba(aba,hp))  
 -BATC(HP) \* CABATC(HP)  
 -sum((Cer,per),stkcer(cer,per,hp)\*PXCVV(Cer,HP))

\* RECEIPTS + SUBSIDIES PER MONTH  
 -sum((satc,S,T,per),chargc(satc,T,S,Per)  
 \*X(satc,S,T,hp))  
 -sum((per),HARV(Per,hp)\*chmb)  
 -sum((per),mosup(Per,hp)\*smic(hp))  
 -sum((per),TRACT(Per,hp)\*TRACTP)  
 +sum((per),HARVL(Per,hp)\*HPL)  
 +sum((per),HFLL(peR,hp)\*RWW)  
 +sum((per),TRACTL(peR,hp)\*TRACTPL)

\* MONTHLY COSTS MONTHLY RECEIPTS FROM RENTING  
 OUT  
 -sum(per,salp\*PermW\*nbj(per)/365\*card(hp))

sum((per),(INILARENT(hp)+LANDRENT(hp))\*RENTP  
 \*nbj(per)/365)

+sum((per),(INILALEASE(hp)+LANDLEASE(hp))\*RENTLP  
 \*nbj(per)/365)

-  
 sum(per,(((LTR/2)\*INICRED+FIXED+AMORT))\*nbj(per)/365  
 \*card(hp))

\* ANNUAL COSTS DIVIDED PER MONTH  
 -sum((per),intot(per,hp))  
 +sum((per),intotp(per,hp))  
 +sum((per),intotp4(per,hp))

```

+dev(n,e,ps,hp) =g= Z + PHI*LBD;
lambda(hp) .. sum((n,e,ps),dev(n,e,ps,hp)) =e= lbd(hp);

* Tresorerie
cashdp1(hp) .. cashp('1',hp) =e=0;
cashdp2(hp) .. cashp('2',hp) =e= cash('1',hp);
cashdp3(hp) .. cashp('3',hp) =e= cash('2',hp);
cashdp4(hp) .. cashp('4',hp) =e= cash('3',hp);
cashdp5(hp) .. cashp('5',hp) =e= cash('4',hp);

CASHFLOW(per,hp).. sum((culture,S,T),Y(culture,T,S))
*PXCVC(culture,hp)*HT(culture,T,S,per)*X(culture,S,T,hp)
+sum((scop,S,T),PRIMcv(scop,T,hp)
*Ppp(scop,per) *X(scop,S,T,hp))
+SUM(ANIX,PV(ANIX)*PXV(ANIX,HP)*VEN(ANIX,per,HP))
SUM(ANIX,PA(ANIX)*PXA(ANIX,HP)*ACH(ANIX,per,HP))
+primeva(per,hp)
+primebov(per,hp)
+primeext(per,hp)
+primeher(per,hp)
SUM(ANIX,FRAISDIV(ANIX,PER,HP)*NB(ANIX,per,HP))
SUM((CER),CEACH(CER,per,HP)*PXCVA(CER,HP))
-sum(aba,conc(aba,per,hp)*pxaba(aba,hp))
-BATC(HP)*CABATC(HP)*nbj(per)/365
-sum(Cer,stkcer(cer,per,hp)*PXCvV(CER,HP))
* SALES RECEIPTS + SUBSIDIES PER MONTH
-sum((satc,S,T),chargc(satc,T,S,Per)
*X(satc,S,T,hp))
-HARV(Per,hp)*chmb
-mosup(Per,hp)*smic(hp)
-TRACT(Per,hp)*TRACTP
+HARVL(Per,hp)*HPL
+HFL(per,hp)*RWW
+TRACTL(per,hp)*TRACTPL
* monthly COSTS MONTHLY RECEIPTS FROM RENTING
OUT
-salp*PermW*nbj(per)/365
(INILARENT(hp)+LANDRENT(hp))*RENTP*nbj(per)/365
+(INILALEASE(hp)+LANDLEASE(hp))*RENTLP*nbj(per)/365
-(((1/10+LTR/2)*INICRED+FIXED))*nbj(per)/365
* ANNUAL COSTS DIVIDED PER MONTH
+intotp(per,hp)+intotp4(per,hp)-intot(per,hp)
+LOAN(per,hp)+LOANN(per,hp)-LOANR(per,hp)-
LOANRr(per,hp)
* LOANS, SAVINGS, LOANS REIMBURSEMENT AND
INTEREST PAID FOR LOANS
+CASHp(per,hp)-SAVE(per,hp)-
SAVE4(per,hp)+INISAVES(per,hp)-MINIM(per,hp)
=e= CASH(per,hp);
* RESIDUAL CASH ALWAYS AVAILABLE,
REMUNERATED SAVINGS,
* INITIAL CASH AVAILABILITY AN MINIMUM MONTH
INCOME

MODEL ELEV1/ALL;

PARAMETER RESULT0(*,*,*,*);
OPTION RESULT0:2:4:1;
PARAMETER RESULT1(*,*,*,*);
OPTION RESULT1:2:4:1;
PARAMETER RESULT2(*,*,*,*);
OPTION RESULT2:2:4:1;
PARAMETER RESULT3(*,*,*,*);
OPTION RESULT3:2:4:1;
PARAMETER RESULT4(*,*,*,*);
OPTION RESULT4:2:3:1;

```

```

PARAMETER stresa(*,*,*,*);
OPTION stresa:2:3:1;
PARAMETER Lille(*,*,*,*);
OPTION lille:2:4:1;
file res /resu.dat;
put res;
put "Maquette polyculture elevage Haut Marnais / Barrois -
Resultats/"
put " 1991 1992 1993 1994
1995/"

loop(an,
cojach('hp1')=cjach(an);
cojach('hp2')=cjach(an+1);
cojach('hp3')=cjach(an+2);
hai(s,'hp1')=haii(s,an);
prime(scop,T,e,'hp1')=PRIMrisk(scop,T,E,AN);
prime(scop,T,e,'hp2')=PRIMrisk(scop,T,E,AN+1);
prime(scop,T,e,'hp3')=PRIMrisk(scop,T,E,AN+2);
inisave('1','hp1')=inisavess('1',an);
bat('hp1')=batini(an);
bat('hp2')=batini(an+1);
bat('hp3')=batini(an+2);
vai(anix,per,'hp1')=vaii(anix,per,an);
vai(anix,per,'hp2')=vaii(anix,per,an+1);
vai(anix,per,'hp3')=vaii(anix,per,an+2);
pxa(anix,'hp1')=pxai(anix,an);
pxa(anix,'hp2')=pxai(anix,an+1);
pxa(anix,'hp3')=pxai(anix,an+2);
pxv(anix,'hp1')=pxvi(anix,an);
pxv(anix,'hp2')=pxvi(anix,an+1);
pxv(anix,'hp3')=pxvi(anix,an+2);
smic('hp1')=smici(an);
smic('hp2')=smici(an+1);
smic('hp3')=smici(an+2);
cabatc('hp1')=cabatci(an);
cabatc('hp2')=cabatci(an+1);
cabatc('hp3')=cabatci(an+2);
fraisdiv(anix,per,'hp1')=fraisdivi(anix,per,an);
fraisdiv(anix,per,'hp2')=fraisdivi(anix,per,an+1);
fraisdiv(anix,per,'hp3')=fraisdivi(anix,per,an+2);
pxaba(aba,'hp1')=pxabai(aba,an);
pxaba(aba,'hp2')=pxabai(aba,an+1);
pxaba(aba,'hp3')=pxabai(aba,an+2);
prim(anix,per,'hp1')=primi(anix,per,an);
prim(anix,per,'hp2')=primi(anix,per,an+1);
prim(anix,per,'hp3')=primi(anix,per,an+2);
primh(per,'hp1')=primhi(per,an);
primh(per,'hp2')=primhi(per,an+1);
primh(per,'hp3')=primhi(per,an+2);
primext(per,'hp1')=primexti(per,an);
primext(per,'hp2')=primexti(per,an+1);
primext(per,'hp3')=primexti(per,an+2);
limipac('hp1')=limipaci(an);
limipac('hp2')=limipaci(an+1);
limipac('hp3')=limipaci(an+2);
limiher('hp1')=limiheri(an);
limiher('hp2')=limiheri(an+1);
limiher('hp3')=limiheri(an+2);
limiext('hp1')=limiexti(an);
limiext('hp2')=limiexti(an+1);
limiext('hp3')=limiexti(an+2);
pxcv(culture,'hp1')=pxcvi(culture,an);
pxcv(culture,'hp2')=pxcvi(culture,an+1);
pxcv(culture,'hp3')=pxcvi(culture,an+2);
pxcvpS(culture,PS,hp)=pxcv(culture,hp)*psv(culture,ps);
pxvpSA(anix,PS,hp)=pxv(anix,hp)*psva(anix,ps);
pxapSA(anix,PS,hp)=pxa(anix,hp)*psva(anix,ps);
pxcvv(cer,'hp1')=pxcvvi(cer,an);
pxcvv(cer,'hp2')=pxcvvi(cer,an+1);
pxcvv(cer,'hp3')=pxcvvi(cer,an+2);
pxcva(cer,'hp1')=pxcvai(cer,an);
pxcva(cer,'hp2')=pxcvai(cer,an+1);
pxcva(cer,'hp3')=pxcvai(cer,an+2);
primcv(scop,T,'hp1')=primcvi(scop,T,an);
primcv(scop,T,'hp2')=primcvi(scop,T,an+1);

```

primcv(scop,T,'hp3')=primcvi(scop,T,an+2);

**SOLVE ELEV1 USING nlp MAXIMISING Z1;  
SOLVE ELEV1 USING nlp MAXIMISING Z1;**

result0('orge','achat',per,hp,an)=ceACH.L('orge',per,HP);  
result0('ble','auto',per,hp,an)=bcerauto.L('ble',per,HP);  
result0('orge','auto',per,hp,an)=bcerauto.l('orge',per,HP);  
result0('ble','stk','3',hp,an)=stkcer.l('ble','3',HP);  
result0('orge','stk','3',hp,an)=stkcer.l('orge','3',HP);  
result0('trtx','achat',per,hp,an)=conc.l('trtx',per,HP);  
result0('cmv','achat',per,hp,an)=conc.l('cmv',per,HP);  
result0('ccjb','achat',per,hp,an)=conc.l('ccjb',per,HP);

result1('vach','achat',per,hp,an)=sum(VA,ACH.L(VA,per,HP));  
result1('varef','achat',per,hp,an)=sum(VAR,ach.L(VAR,per,HP));  
result1('broo','achat',PER,HP,AN)=ACH.L('BROO',PER,HP);  
result1('broe','achat',PER,HP,AN)=ACH.L('Broe',PER,HP);  
result1('gen1','achat',PER,HP,AN)=sum(GAR1,ACH.L(GAR1,PER,HP));  
result1('gen2','achat',PER,HP,AN)=sum(GAR2,ACH.L(GAR2,PER,HP));  
result1('ta18','achat',PER,HP,AN)=sum(TA18,ACH.L(TA18,per,HP));  
result1('tau1','achat',PER,HP,AN)=sum(TA231,ACH.L(TA231,per,HP));  
result1('tau2','achat',PER,HP,AN)=sum(TA232,ACH.L(TA232,per,HP));  
result1('boe1','achat',PER,HP,AN)=sum(BA301,ACH.L(BA301,PER,HP));  
result1('boe2','achat',PER,HP,AN)=sum(BA302,ACH.L(BA302,per,HP));

result2('vach','vente',per,HP,AN)=sum(VA,VEN.L(VA,PER,HP));  
; result2('varef','vente',PER,HP,AN)=sum(VAR,VEN.L(VAR,PER,HP));  
result2('broe','vente',PER,HP,AN)=VEN.L('Broe',PER,HP);  
result2('broo','vente',PER,HP,AN)=VEN.L('BROO',PER,HP);  
result2('gen1','vente',PER,HP,AN)=sum(GAR1,VEN.L(GAR1,PER,HP));  
result2('gen2','vente',PER,HP,AN)=sum(GAR2,VEN.L(GAR2,PER,HP));  
result2('ta18','vente',PER,HP,AN)=sum(TA18,ven.L(TA18,per,HP));  
result2('tau1','vente',PER,HP,AN)=sum(TA231,VEN.L(TA231,PER,HP));  
result2('tau2','vente',PER,HP,AN)=sum(TA232,VEN.L(TA232,PER,HP));  
result2('boe1','vente',PER,HP,AN)=sum(BA301,VEN.L(BA301,PER,HP));  
result2('boe2','vente',PER,HP,AN)=sum(BA302,VEN.L(BA302,PER,HP));

result3('var','effectif',PER,HP,AN)=sum(VAref,nB.L(VAref,PER,HP));  
result3('va','effectif',PER,HP,AN)=sum(va,nB.L(VA,PER,HP));  
result3('gen1','effectif',PER,HP,AN)=sum(GAR1,NB.L(GAR1,PER,HP));  
result3('gen2','effectif',PER,HP,AN)=sum(GAR2,NB.L(GAR2,PER,HP));  
result3('ta18','eff',PER,HP,AN)=sum(TA18,nB.L(TA18,per,HP));  
result3('boe1','effectif',PER,HP,AN)=sum(BA301,NB.L(BA301,PER,HP));  
result3('tau1','effectif',PER,HP,AN)=sum(TA231,NB.L(TA231,PER,HP));  
result3('tau2','effectif',PER,HP,AN)=sum(TA232,NB.L(TA232,PER,HP));  
result3('boe2','effectif',PER,HP,AN)=sum(BA302,NB.L(BA302,PER,HP));  
result3('broo','effec',PER,HP,AN)=NB.L('BROO',PER,HP);  
result3('broe','effectif',PER,HP,AN)=NB.L('BROe',PER,HP);

result4('chargpac','ugb',hp,an)=ugbpac.l(hp);  
result4('chargher','ugb',hp,an)=ugbherbe.l(hp);

result4('batc','m2',hp,an)=batc.l(hp);  
result4('bati','m2',hp,an)=bati.l(hp);  
result4('dev','5',hp,an)=lbd.l(hp);  
result4('UTT','Z',HP,AN)=Z1.L;  
result4('revcul','Z',HP,AN)=revcul.L(hp);  
result4('revanx','Z',HP,AN)=revanx.L(hp);  
**result4('UTHP1','ZHP1','HP1',AN)=Zhp1.L;**  
result4('UTHP1/Ha','F','HP1',AN)=Zhp1.L/SUM((SATC,S,T),X.L(SATC,S,T,'hP1'));  
result4('pxv','F',hp,an)=pxv('ta18m',hp);  
result4('jach','Ha',HP,AN)=sum((S,T),X.L('jach',S,T,HP));  
result4('pt','ha',hp,an)=pt.l(hp);  
RESULT4('SFP','Ha',HP,AN)=SUM((SFP,S,T),X.L(SFP,S,T,HP));  
RESULT4('sde','Ha',HP,AN)=SUM((sde,S,T),X.L(Sde,S,T,HP));  
\*RESULT4('Cer  
ach','qte',HP,AN)=SUM((CER,S,T),ceach.L(CER,S,T,HP));  
RESULT4('ble','Ha',HP,AN)=sum((S,T),X.L('ble',S,T,HP));  
RESULT4('orge','Ha',HP,AN)=sum((S,T),X.L('orge',S,T,HP));  
RESULT4('colza','Ha',HP,AN)=sum((S,T),X.L('colza',S,T,HP));  
RESULT4('SCOP','Ha',HP,AN)=SUM((SCOP,S,T),X.L(SCOP,S,T,HP));  
RESULT4('PATUR','Ha',HP,AN)=SUM((Pat,S,T),X.L(Pat,S,T,HP));  
RESULT4('ENSPAT','Ha',HP,AN)=SUM((EH,S,T),X.L(EH,S,T,HP));  
RESULT4('FOINPAT','Ha',HP,AN)=SUM((Fo,S,T),X.L(Fo,S,T,HP));  
RESULT4('FOIN','Ha',HP,AN)=SUM((FR,S,T),X.L(FR,S,T,HP));  
RESULT4('MAISENS','Ha',HP,AN)=SUM((EM,S,T),X.L(EM,S,T,HP));

STRESA('SAU','Ha',hp,AN)=SUM((SATC,S,T),X.L(SATC,S,T,hP));  
STRESA('Tec1','scop',hp,AN) =  
SUM((Scop,S),X.L(scop,S,'T1',hP))/SUM((sac,S,T),X.L(sac,S,T,hP));  
STRESA('Tec2','scop',hp,AN) =  
SUM((SCOP,S),X.L(scop,S,'T2',hP))/SUM((sac,S,T),X.L(sac,S,T,hP));  
STRESA('Tec3','scop',hp,AN) =  
SUM((SCOP,S),X.L(scop,S,'T3',hP))/SUM((sac,S,T),X.L(sac,S,T,hP));  
STRESA('Tec4','scop',hp,AN) =  
SUM((SCOP,S),X.L(scop,S,'T4',hP))/SUM((sac,S,T),X.L(sac,S,T,hP));

STRESA('Tec11','sfp',hp,AN) =  
SUM((Sfp,S),X.L(sfp,S,'T1',hP))/SUM((sac,S,T),X.L(sac,S,T,hP));  
STRESA('Tec22','sfp',hp,AN) =  
SUM((SFP,S),X.L(sfp,S,'T2',hP))/SUM((sac,S,T),X.L(sac,S,T,hP));  
STRESA('Tec33','sfp',hp,AN) =  
SUM((SFP,S),X.L(sfp,S,'T3',hP))/SUM((sac,S,T),X.L(sac,S,T,hP));  
STRESA('Tec44','sfp',hp,AN) =  
SUM((SFP,S),X.L(sfp,S,'T4',hP))/SUM((sac,S,T),X.L(sac,S,T,hP));  
STRESA('NITR','L',hp,an)=  
NITLOSS.L(hp)/SUM((sCop,S,T),X.L(sCop,S,T,hP));

LILLE('Saisonnier','H',per,hp,an) = MOSUP.L(per,hp);  
LILLE('Recolte','H ach',per,hp,an) = HARV.L(per,hp);  
LILLE('Travaux','H ach',per,hp,an) = TRACT.L(per,hp);  
LILLE('Emprunts','Fr',per,hp,an) = LOAN.L(per,hp);  
LILLE('Empt sup','Fr',per,hp,an) = LOANN.L(per,hp);  
LILLE('Epargne','F',per,hp,an) = SAVE.L(per,hp);  
LILLE('Int recus','F',per,hp,an) = INTOTP.L(per,hp);  
LILLE('Int payes','F',per,hp,an) = INTOT.L(per,hp);  
LILLE('Tresorerie','F',per,hp,an) = CASH.L(per,hp);

**DISPLAY RESULT0;  
DISPLAY RESULT1;**

DISPLAY RESULT2;  
DISPLAY RESULT3;  
DISPLAY RESULT4;  
DISPLAY STRESA;  
DISPLAY LILLE;

**\*Recurivite**

debbp(anix)=nb.l(anix,'S',hp1');  
HAhp(S,'hp1') = sum((satc,T).X.L(Satc,S,T,'hp1'));  
INILARENT('hp1')=INILARENT('hp1')+LANDRENT.L('hp1');  
  
INILALEASE('hp1')=INILALEASE('hp1')+LANDLEASE.L('hp1');  
INISAVESHp('hp1') = inisaves.L('1',hp2);  
bathp('hp1') = bati.L('hp1');

); **\*fin de loop**



## Les fichiers connexes :

### Primect.mec : Primes cultures

	91	92	93	94	95	96	97	98
colza.T2*T4	0	3728	3728	3728	3728	3728	3728	3728
mais.T1*T3	0	0	1085	1527	1964	1964	1964	1964
jach.T3	0	0	1854	2534	3546	3546	3546	3546
orge.t1*T4	0	0	1085	1527	1964	1964	1964	1964
ble.T1*T4	0	0	1085	1527	1964	1964	1964	1964

### Pa.mec : poids vifs d'achat en kg

/vafc 650	gar1m 470	ta231f 300
vam 650	gar1h 470	ta232m 400
vah 650	gar2f 650	ta232h 400
vaf 650	gar2m 650	ta232b 400
varm 350	gar2h 650	ba301m 300
varc 350	ta18m 400	ba301f 300
varh 350	ta18h 400	ba302m 400
broo 315	ta18b 400	ba302h 400
broe 250	ta231m 300	ba302c 400/
gar1f 470	ta231h 300	

### pxain.mec : prix d'achat au kg

	91	92	93	94	95	96	97	98
vafc	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
vam	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
vah	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
vaf	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
varm	19.40	19.50	18.52	17.55	16.58	16.58	16.58	16.58
varc	19.40	19.50	18.52	17.55	16.58	16.58	16.58	16.58
varh	19.40	19.50	18.52	17.55	16.58	16.58	16.58	16.58
gar1f	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
gar1m	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
gar1h	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
gar2f	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
gar2m	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
gar2h	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
ta18m	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta18h	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta18b	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta231m	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta231h	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta231f	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta232m	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta232h	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta232b	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ba301m	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
ba301f	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
ba302m	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
ba302h	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
ba302c	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
broo	14.50	15.20	14.44	13.68	12.92	12.92	12.92	12.92
broe	14.50	15.20	14.44	13.68	12.92	12.92	12.92	12.92

**Pv.mec : poids vif de vente en kg pour les animaux reproducteurs****\*poids de carcasse pour les animaux destines a l abattage**

/vafc 650	gar1m 470	ta231f 300
vam 650	gar1h 470	ta232m 400
vah 650	gar2f 650	ta232h 400
vaf 650	gar2m 650	ta232b 400
varm 350	gar2h 650	ba301m 300
varc 350	ta18m 400	ba301f 300
varh 350	ta18h 400	ba302m 400
broo 315	ta18b 400	ba302h 400
broe 250	ta231m 300	ba302c 400/
gar1f 470	ta231h 300	

**Pxvi.mec : prix de vente F/kg****\* poids vif de vente en kg pour les animaux reproducteurs****\*poids de carcasse pour les animaux destines a l abattage**

	91	92	93	94	95	96	97	98
vafc	8.95	9.00	8.55	8.10	7.65	7.65	7.65	7.65
vam	8.95	9.00	8.55	8.10	7.65	7.65	7.65	7.65
vah	8.95	9.00	8.55	8.10	7.65	7.65	7.65	7.65
vaf	8.95	9.00	8.55	8.10	7.65	7.65	7.65	7.65
varm	19.40	19.50	18.52	17.55	16.58	16.58	16.58	16.58
varc	19.40	19.50	18.52	17.55	16.58	16.58	16.58	16.58
varh	19.40	19.50	18.52	17.55	16.58	16.58	16.58	16.58
gar1f	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
gar1m	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
gar1h	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
gar2f	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
gar2m	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
gar2h	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
ta18m	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta18h	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta18b	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta231m	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta231h	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta231f	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta232m	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta232h	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ta232b	21.30	21.50	20.40	19.35	18.28	18.28	18.28	18.28
ba301m	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
ba301f	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
ba302m	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
ba302h	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
ba302c	21.00	21.20	20.14	19.08	18.02	18.02	18.02	18.02
broo	14.50	15.20	14.44	13.68	12.92	12.92	12.92	12.92
broe	14.50	15.20	14.44	13.68	12.92	12.92	12.92	12.92

**duree.mec :duree alimentation a l'auge selon la période**

	1	2	3	4	5						
vafc	105	0	0	0	45	ta18m	105	60	0	0	45
vam	105	0	0	0	45	ta18h	105	60	0	0	45
vah	105	0	0	0	45	ta18b	105	60	0	0	45
vaf	105	0	0	0	45	ta231m	105	0	0	0	45
varm	45	0	0	0	45	ta231h	105	0	0	0	45
varc	45	0	0	0	45	ta231f	105	0	0	0	45
varh	45	0	0	0	45	ta232m	45	0	0	0	45
gar1f	105	0	0	0	45	ta232h	45	0	0	0	45
gar1m	105	0	0	0	45	ta232b	45	0	0	0	45
gar1h	105	0	0	0	45	ba301m	105	0	0	0	45
gar2f	105	0	0	0	45	ba301f	105	0	0	0	45
gar2m	105	0	0	0	45	ba302m	105	60	0	0	45
gar2h	105	0	0	0	45	ba302h	105	60	0	0	45
						ba302c	105	60	0	0	45

**fraisdi.mec : charges directes liées à l'élevage (F) selon les périodes**

	1	2	3	4	5						
vafc	0	0	0	0	350	ta18m	0	295	0	0	0
vam	0	0	0	0	350	ta18h	0	295	0	0	0
vah	0	0	0	0	350	ta18b	0	295	0	0	0
vaf	0	0	0	0	350	ta231m	0	0	0	295	0
varm	0	0	0	0	350	ta231h	0	0	0	295	0
varc	0	0	0	0	350	ta231f	0	0	0	295	0
varh	0	0	0	0	350	ta232m	0	0	0	295	0
gar1f	0	0	0	220	0	ta232h	0	0	0	295	0
gar1m	0	0	0	220	0	ta232b	0	0	0	295	0
gar1h	0	0	0	220	0	ba301m	0	0	0	295	0
gar2f	0	0	0	0	293	ba301f	0	0	0	295	0
gar2m	0	0	0	0	293	ba302m	0	0	0	0	295
gar2h	0	0	0	0	293	ba302h	0	0	0	0	295
						ba302c	0	0	0	0	295

**bhaba.mec : besoins a l'auge en aliments achetes en kg:j**

	trtx	cmv	ccjb								
vafc.1	0.5	0	0	gar1f.5	0.3	0	0	ta232m.4	1	0.15	0
vam.1	0.3	0	0	gar1m.5	0.3	0	0	ta232h.4	0.8	0.15	0
vah.1	0.3	0	0	gar1h.5	0.3	0	0	ta232b.4	0.8	0.18	0
vaf.1	0	0	0	ta18m.1	1	0.15	0	ta232m.5	1	0.15	0
vafc.5	0.5	0	0	ta18h.1	0.4	0.15	1.3	ta232h.5	0.8	0.15	0
vam.5	0.3	0	0	ta18b.1	0.8	0.18	0	ta232b.5	0.8	0.18	0
vah.5	0.3	0	0	ta18m.2	1	0.15	0	ba301m.2	0.5	0.08	0
vaf.5	0	0	0	ta18h.2	0.4	0.15	1.3	ba301f.2	0	0	2.5
varm.1	1	0.1	0	ta18b.2	0.8	0.18	0	ba302m.1	1.7	0.17	0
varc.1	0.1	0	0	ta18m.5	1	0.15	0	ba302h.1	1.5	0.1	0
varh.1	0	0	0	ta18h.5	0.4	0.15	1.3	ba302c.1	1.5	0.15	0
varm.5	1	0.1	0	ta18b.5	0.8	0.18	0	ba302m.2	1.7	0.17	0
varc.5	0.1	0	0	ta231m.1	0.6	0	0	ba302h.2	1.5	0.1	0
varh.5	0	0	0	ta231h.1	0.5	0	0	ba302c.2	1.5	0.15	0
gar1f.1	0.3	0	0	ta231f.1	0.5	0	0	ba302m.5	1.7	0.17	0
gar1m.1	0.3	0	0	ta231m.5	0.6	0	0	ba302h.5	1.5	0.1	0
gar1h.1	0.3	0	0	ta231h.5	0.5	0	0	ba302c.5	1.5	0.15	0
				ta231f.5	0.5	0	0				

**bhabap.mec : besoins a l auge des animaux en cereales en kg:j**

	orge	ble	varc.1	1	0	ba302m.1	7	0
vafc.1	2	0	varc.5	1	0	ba302m.2	7	0
vafc.5	2	0	ta18h.1	1.3	0	ba302m.5	7	0
vaf.1	2	0	ta18h.2	1.3	0	ba302h.1	7	0
vaf.5	2	0	ta18h.5	1.3	0	ba302h.2	7	0
vam.1	2	0	ta232m.4	2	0	ba302h.5	7	0
vam.5	2	0	ta232m.5	2	0	ba302c.1	7	0
vah.1	2	0	ta232h.4	4.6	0	ba302c.2	7	0
vah.5	2	0	ta232h.5	4.6	0	ba302c.5	7	0

**bhfour.mec : Besoins a l auge des animaux en fourrage en kg:j**

	foin	empe	ehpe	paille	ta18h.5	0	0	6.5	0
ba301f.1	4	0	0	0	ta18m.1	0	6.5	0	0
ba301f.5	4	0	0	0	ta18m.5	0	6.5	0	0
ba301m.1	2.5	4.8	0	0	ta231f.1	6	0	0	0
ba301m.5	2.5	4.8	0	0	ta231f.5	6	0	0	0
ba302c.1	7	0	0	0	ta231h.1	0	0	6	0
ba302c.2	7	0	0	0	ta231h.5	0	0	6	0
ba302c.5	7	0	0	0	ta231m.1	0	6.5	0	0
ba302h.1	0	0	9	0	ta231m.5	0	6.5	0	0
ba302h.2	0	0	9	0	ta232b.1	0	0	0	7
ba302h.5	0	0	9	0	ta232b.5	0	0	0	7
ba302m.1	0	8.7	0	0	ta232h.1	0	0	4.8	0
ba302m.2	0	8.7	0	0	ta232h.5	0	0	4.8	0
ba302m.5	0	8.7	0	0	ta232m.1	0	8.5	0	0
gar1f.1	5.5	0	0	0	ta232m.5	0	8.5	0	0
gar1f.5	5.5	0	0	0	vaf.1	14	0	0	0
gar1h.1	2	0	3	0	vaf.5	14	0	0	0
gar1h.5	2	0	3	0	vafc.1	8	0	0	3
gar1m.1	2.5	3.5	0	0	vafc.5	8	0	0	3
gar1m.5	2.5	3.5	0	0	vah.1	0	0	9	2
gar2f.1	7	0	0	0	vah.5	0	0	9	2
gar2f.5	7	0	0	0	vam.1	0	13	0	2
gar2h.1	4	0	4	0	vam.5	0	13	0	2
gar2h.5	4	0	4	0	varc.1	11	0	0	0
gar2m.1	1	6	0	0	varc.5	11	0	0	0
gar2m.5	1	6	0	0	varh.1	0	0	11	0
ta18b.1	0	0	0	7	varh.5	0	0	11	0
ta18b.5	0	0	0	7	varm.1	0	11	0	0
ta18h.1	0	0	6.5	0	varm.5	0	11	0	0

**bpatu.mec : table d equivalence animal – UGB technique selon les périodes**

	1	2	3	4	5	gar2f	0	0.85	0.85	0.85	0
vafc	0	1	1	1	0	gar2m	0	0.85	0.85	0.85	0
vam	0	1	1	1	0	gar2h	0	0.85	0.85	0.85	0
vah	0	1	1	1	0	ta18m	0	0	0	0	0
vaf	0	1	1	1	0	ta18h	0	0	0	0	0
varm	0	0	0	0	0	ta18b	0	0	0	0	0
varc	0	0	0	0	0	ta231m	0	0.65	0.65	0	0
varh	0	0	0	0	0	ta231h	0	0.65	0.65	0	0
gar1f	0	0.65	0.65	0.65	0	ta231f	0	0.65	0.65	0	0
gar1m	0	0.65	0.65	0.65	0	ba301m	0	0.65	0.65	0.65	0
gar1h	0	0.65	0.65	0.65	0	ba301f	0	0.65	0.65	0.65	0

