

UNIVERSITE MONTPELLIER I
FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES

THESE

Présentée pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE MONTPELLIER I

ESSAI DE MODELISATION BIO-ECONOMIQUE DE LA RELATION AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT LE CAS DE L'EROSION EN TUNISIE

Formation doctorale : Economie de développement agricole, agro-alimentaire et rural
Groupe des disciplines **Sciences économiques** du CNU (section 05)

par

Kamel LOUHICHI

Soutenue le 01 Mars 2001

JURY

M. BOISSON Jean-Marie	Professeur à l'université Montpellier I	Codirecteur
M. BOUSSEMART Jean-Philippe	Professeur à l'université Lille III	Rapporteur
M. FLICHMAN Guillermo	Administrateur scientifique IAMM	Codirecteur
M. NOEL Jean-François	Professeur à l'université Angers, C3ED	Rapporteur
M. RIO Patrick	Directeur de recherche INRA-Montpellier	Suffragant

"La faculté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur".

SCHEMA DE LA THESE

Problématique : *doit-on considérer l'agriculture comme une industrie fortement créatrice d'externalités négatives et positives qu'il convient d'évaluer, par le biais des méthodes et des instruments de l'analyse économique ou bien comme une activité économique qui entretient des relations spécifiques avec l'environnement naturel et humain dans lequel elle s'intègre et dont il faut, par l'intermédiaire d'une mobilisation pluridisciplinaire, Insérer le développement dans une dynamique coévolutive ?*

L'érosion un exemple de la relation agriculture-environnement : quels sont ses impacts économiques et environnementaux ? Quel est le degré d'efficacité des politiques et des mesures environnementales mises en œuvre pour lutter contre ce problème ? Comment et par le biais de quel instrument peut-on mieux concilier entre les objectifs économiques et la conservation de la ressource et à quels prix ?

PREMIERE PARTIE :

La relation agriculture environnement : positionnements théoriques, problématique et choix méthodologique

CHAPITRE 1 : ECONOMIE, ENVIRONNEMENT, AGRICULTURE : LES POSITIONNEMENTS THEORIQUES

CHAPITRE 2 : AGRICULTURE, ENVIRONNEMENT, EROSION : LA PROBLEMATIQUE

CHAPITRE 3 : MODELISATION BIO-ECONOMIQUE : LE SUPPORT METHODOLOGIQUE

DEUXIEME PARTIE :

La constitution du modèle bio-économique : de la théorie à la pratique

CHAPITRE 1 : LA REGION DE ZAGHOUAN (TUNISIE) COMME DOMAINE D'ETUDE : CARACTERISATION ET TYPOLOGIE

CHAPITRE 2 : LE MODELE BIOPHYSIQUE : CONSTRUCTION ET OBTENTION DES COEFFICIENTS TECHNIQUES

CHAPITRE 3 : LE MODELE ECONOMIQUE : CONCEPTION ET CONSTRUCTION

TROISIEME PARTIE : Les résultats des modèles bio-économiques et évaluation des politiques

CHAPITRE 1 : LES RESULTATS DES MODELES INDIVIDUELS ET AGREGES

CHAPITRE 2 : EVALUATION ET PROPOSITION DES POLITIQUES

CONCLUSION GENERALE

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

PREMIERE PARTIE : LA RELATION AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT : POSITIONNEMENTS THEORIQUES, PROBLEMATIQUE ET CHOIX METHODOLOGIQUE

CHAPITRE 1: ECONOMIE, ENVIRONNEMENT, AGRICULTURE : LES POSITIONNEMENTS THEORIQUES

I. LES PARADIGMES : LES GRANDS REGARDS DE LA THEORIE

II. LA RELATION ACTIVITE ECONOMIQUE ENVIRONNEMENT : LES PREMIERES APPROCHES
ECONOMIQUES

III. LA RELATION ACTIVITE ECONOMIQUE ENVIRONNEMENT : LES COURANTS DE PENSEE
CONTEMPORAINS

CHAPITRE 2 : AGRICULTURE, ENVIRONNEMENT, EROSION : LA PROBLEMATIQUE

I. LA RELATION AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT : FONDEMENT HISTORIQUE

II. LA RELATION AGRICULTURE RESSOURCES NATURELLES : UN LIEN EVIDENT

III. AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT : CONFLITS DE LOGIQUE ET PROBLEMES DE
COORDINATION

IV. L'EROSION : UN EXEMPLE DE LA RELATION AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT

CHAPITRE 3 : MODELISATION BIO-ECONOMIQUE : LE SUPPORT METHODOLOGIQUE

I. LE CHOIX DU SUPPORT METHODOLOGIQUE

II. LE POSITIONNEMENT THEORIQUE DE LA MODELISATION BIO-ECONOMIQUE

III. LA MODELISATION BIO-ECONOMIQUE COMME OUTIL D'ANALYSE : APERCU GENERAL

IV. LA MODELISATION BIO-ECONOMIQUE RETENUE : DEFINITION ET SPECIFICITE

DEUXIEME PARTIE : LE MODELE BIO-ECONOMIQUE : DE LA THEORIE A LA PRATIQUE

CHAPITRE 1 : LA REGION DE ZAGHOUAN (TUNISIE) COMME DOMAINE D'ETUDE : CARACTERISATION ET TYPOLOGIE DES EXPLOITATIONS

I. L'ENVIRONNEMENT NATUREL EN TUNISIE : UN ESPACE MENACE

II. POLITIQUE TUNISIENNE DE CONSERVATION DES RESSOURCES NATURELLES

III. LA REGION DE ZAGHOUAN : SPECIFICITES ET TYPOLOGIES DES EXPLOITATIONS

CHAPITRE 2 : LE MODELE BIOPHYSIQUE : CONSTRUCTION ET OBTENTION DES COEFFICIENTS TECHNIQUES

I. LA CONSTRUCTION ET LA VALIDATION DU MODELE BIOPHYSIQUE

II. CHOIX DES ALTERNATIVES DE PRODUCTION ET DETERMINATION DES COEFFICIENTS TECHNIQUES

CHAPITRE 3 : LE MODELE ECONOMIQUE : CONCEPTION ET CONSTRUCTION

I. LE MODELE ECONOMIQUE D'EXPLOITATION

II. LE MODELE AGREGÉ : LA REGION COMME UNITE ECONOMIQUE

TROISIEME PARTIE : LES MODELES BIO-ECONOMIQUES : ANALYSE DES RESULTATS ET EVALUATION DES POLITIQUES

CHAPITRE 1 : LES RESULTATS DES MODELES INDIVIDUELS ET AGREGÉ DE BASE

INTRODUCTION

I. VALIDATION DES MODELES DE BASE : REPRODUCTION DES TENDANCES ACTUELLES

CONCLUSION

CHAPITRE 2 : EVALUATION ET PROPOSITION DES POLITIQUES

I. L'INSTRUMENT CONTRACTUEL D'ECO-CONDIONNALITE : PROPOSITION D'UN CAHIER DE CHARGE SPECIAL EROSION

II. LA POLITIQUE DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL (CES) : EVALUATION DE L'EFFICACITE DES BANQUETTES

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

RESUME

Complexe, discontinue et non convexe, telle est la spécificité fondamentale de la relation agriculture environnement. Qu'il s'agisse de la pollution des nappes, de l'érosion du sol ou de la salinité, ce sont les effets externes associés au processus de production agricole qui revêtent une apparence complexe et non linéaire. Les apprécier au travers d'une simple réduction aux règles habituelles de l'internalisation, renvoie, non seulement, aux ambiguïtés classiques d'une économie de bien-être au sens de Pareto, mais aussi à des problèmes de conception et de choix de l'instrument d'analyse. Adopter une approche pluridisciplinaire associant l'économie et l'agronomie, basée sur le couplage d'un modèle bio-physique et d'un modèle économique de programmation mathématique de type multipériodique récursif, se révèle très utile dans un domaine où les phénomènes bio-physiques et les facteurs non marchands sont très présents. Appliquée, en Tunisie et à une échelle régionale, cette approche bio-économique, a permis d'estimer physiquement les fonctions d'externalités de l'érosion générées par le mode de production actuel et d'évaluer les effets attendus à long terme, d'une part, de l'introduction de la politique de "conservation des eaux et des sols" (CES) et, d'autre part, de l'application de l'instrument contractuel à travers la proposition d'un cahier de charges conditionnant les subventions au respect d'un code de bonnes pratiques.

TITLE: *A bio-economic model for analysing the relation between agriculture and environment: the case of erosion in Tunisia.*

ABSTRACT

Discontinuities and non-convexities are among the fundamental specificities of the relationship between Agriculture and the environment. Whereas it concerns groundwater pollution, the erosion of soils or salinity, the externalities associated to the process of agricultural production are complex and mostly non-linear. To evaluate them through the simple way of the usual rules of internalisation is not completely satisfactory. Thus we have adopted a multidisciplinary approach, associating economics and agronomy via a model coupling a bio-physical simulator and an economic programme, optimising the producers behaviour. This model introduces some sophistications, namely a dynamic recursive approach.

Applied to Tunisia, at a regional scale (Zaghouan region), this bio-economic approach allowed to estimate physically the externalities functions of the erosion generated by the present way of production, and to estimate the long term expected effects of the introduction of the wellknown " waters and soils conservation " (CES) policy implemented by the Tunisian authorities. It is also shown the possibility to introduce an incentive instrument through a cross-compliance contract triggering the possible subsidies.

DISCIPLINE : *Sciences économiques (section 05)*

MOTS-CLES : *Tunisie ; Zaghouan ; Economie ; Environnement ; Ressources naturelles ; Erosion ; Externalité ; Modélisation ; Programmation mathématique ; Modèle bio-physique ; politique agricole ; politique environnementale.*

LABORATOIRE D'ACCEUIL : *Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 3191 route de mende, 34093 Montpellier - France.*

INTRODUCTION GENERALE

Les questions environnementales sont devenues, aujourd'hui, une préoccupation majeure affichée par de multiples agents dans leurs comportements sociaux, politiques, et de plus en plus économiques et ce, afin de conserver ou de reconstituer de meilleures conditions de vie pour les populations, et d'assurer un développement économique et social durable.

La dégradation de l'environnement - qu'il s'agisse de l'érosion des sols, de la désertification et de la pollution de l'air, de l'appauvrissement de la couche d'ozone, de la pollution des océans, du réchauffement de l'atmosphère ou de la déforestation - préoccupe de plus en plus la communauté internationale. Cela tient en grande partie au fait que l'on comprend mieux la relation économique-environnement et que l'on s'efforce d'élaborer des politiques économiques compatibles avec les impératifs écologiques.

Reflets de cette prise de conscience, conférences et conventions internationales relatives à leur bon usage se succèdent au cours de cette dernière décennie : qu'elles soient épuisables ou renouvelables, ce sont les ressources naturelles dans leur diversité qui tiennent désormais la vedette à l'échelle mondiale : le protocole de Montréal sur le contrôle des émissions de chlorofluorocarbones (1990), la conférence de Rio sur l'environnement et le développement en 1992, la conférence des Nations unies sur la pêche inaugurée à New York en 1993, la convention sur le changement climatique de Berlin en 1995, etc.... illustrent cette fièvre des années 1990.

Cependant, malgré les nombreuses études effectuées sur les questions d'environnements depuis un quart de siècle, il reste beaucoup à apprendre sur les liens de cause à effet entre activités économiques et environnement, les répercussions éventuelles de la politique économique - tant sur le plan macro-économique que micro-économique - sur l'environnement et les implications des mesures micro-économiques de protection de l'environnement sur les grands équilibres économiques.

L'importance de ces enjeux explique l'âpreté des débats et des conflits qui reflète l'antagonisme des positions entre les activités économiques et l'environnement de façon générale et entre ce dernier et l'agriculture, objet du présent travail, de façon particulière.

En effet et pendant longtemps, les problèmes qu'ils soient de développement agricole ou d'environnement naturel, ont été abordés dans l'urgence et dans le court terme, sans évaluer les incidences des solutions choisies et en gardant plus au moins consciemment l'espoir que les sciences et les techniques, toutes puissantes, arriveraient bien au bout du compte à résoudre les nouveaux problèmes posés ou bien que la nature s'en chargerait. On ne peut ainsi nier les progrès spectaculaires de l'agriculture productiviste et son efficacité dans la réponse aux questions de la suffisance alimentaire ; en revanche, on n'a pas évalué à leur juste mesure les impacts environnementaux (pollution diffuses par les engrais ou les pesticides, modifications de l'utilisation des techniques et leurs effets sur les sols agricoles, etc.) et on n'en pas, non plus, estimé et anticipé les conséquences socioéconomiques.

Cependant, l'agriculture n'est évidemment pas seulement co-responsable des problèmes d'environnement, elle peut en être victime ou bénéficiaire, potentielle. Autre que le traitement des rebuts des villes et des déchets urbains, l'agriculture constitue le «jardinier de la nature» par ses services d'entretien du couvert végétal ainsi que par la production des produits alimentaires et de fibres de qualité.

Ces interactions qui couplent explicitement les problèmes d'environnement et ceux de développement agricole constituent un domaine d'application particulièrement adapté à l'analyse scientifique. Ce n'était pas toujours le cas pendant une longue période pour la recherche scientifique malgré les nombreuses déclarations d'intention. Aujourd'hui, ce lien est largement admis et explicité par la communauté scientifique et la relation entre activité agricole et environnement s'éclaircit de plus en plus. L'intérêt particulier attaché à ce lien s'inscrit dans la prise de conscience, dans les politiques agricoles contemporaines, des pertes de bien être liées aux distorsions de prix issues de politiques agricoles -spécialement en Europe- et la volonté d'ordonner les arguments d'ordre allocatif et répartitif.

Parallèlement à cette prise de conscience scientifique, l'intérêt des économistes pour l'analyse et l'évaluation des interactions entre les activités économiques et l'environnement s'est fortement accru depuis une vingtaine d'années. Ce qui paraissait autre fois comme marginal semble être devenu une branche reconnue de la science économique : évolution illustrée par l'intégration de cette spécialité dans le courant principal de l'analyse économique. Si la science économique a été marquée par la coexistence de plusieurs «paradigmes» tels que le néoclassicisme, le keynésianisme, l'institutionnalisme et le marxisme, il n'en reste pas moins que la théorie néoclassique s'est renforcée comme modèle dominant, pour constituer

l'orthodoxie et apparaît, aux yeux de certains économistes, comme «la» théorie économique. Un des programmes de recherche actuels concerne l'application, au domaine des ressources naturelles et de l'environnement, de l'outillage théorique et méthodologique spécifique à cette école de pensée dominante¹.

L'agriculture constitue, pour ce courant de pensée, un domaine d'application adapté à l'analyse économique des interactions entre activités économiques et environnement naturel et reçoit généralement des réponses théoriques relativement claires.

Le rapprochement entre les spécificités de l'agriculture et cette théorie dominante, nous amène à nous demander si les bases de cette théorie sont bien celles qui conviendraient pour affronter les nouveaux défis, tels qu'ils sont posés aujourd'hui par l'interface agriculture-environnement naturel. En effet et contrairement aux autres activités économiques, l'interaction entre agriculture et environnement se caractérise, dans la plupart des cas, par sa «non linéarité²», ce qui complique la compréhension globale du couplage entre les dynamiques socio-économiques et les dynamiques environnementales, entre les sociétés et leur environnement.

La présence de cette non linéarité conjuguée à l'accélération des changements dans le mode de production, nous amène à poser une question centrale, clé de la compréhension et de la résolution de l'interface agriculture-environnement.

☞ *Doit-on considérer l'agriculture comme une industrie fortement créatrice d'externalités négatives et positives qu'il convient d'évaluer, par le biais des méthodes et des instruments de l'analyse économique, afin de les optimiser dans un contexte simultané de recherche de l'avantage collectif et d'économie politique ou bien comme une activité économique qui entretient des relations spécifiques avec l'environnement naturel et humain dans lequel elle s'intègre et dont il faut, par l'intermédiaire d'une mobilisation pluridisciplinaire, insérer le développement dans une dynamique coévolutive ?*

☞ *S'agit-il d'un champ d'interaction où on doit se limiter uniquement à des approches*

¹ Au cœur de cette école de pensée figurent les principes de l'individualisme méthodologique, une démarche déductive et axiomatique, un modèle de comportement optimisateur des agents, des formalismes empruntés à la mécanique rationnelle et focalisés sur l'équilibre et l'optimum.

² Ce terme quelque peu ésotérique, ayant un sens précis en mathématiques, est de plus en plus employé pour dire, très schématiquement, qu'il n'y a pas proportionnalité des effets par rapport aux causes et que les effets sont plus complexes. Les dynamiques des systèmes « non linéaires » revêtent aussi une apparence complexe (par exemple, en se traduisant par des trajectoires irrégulières).

économiques (des méthodes et des instruments économiques) pour l'évaluer ou bien d'un domaine de recherche théorique multidisciplinaire ouvrant des perspectives spécifiques à différentes disciplines et dans lequel l'évaluation économique doit s'articuler à d'autres types d'informations élaborées par d'autres disciplines ?

Analyser cette question nous renvoie, tout d'abord, à la recherche, dans les différentes approches de la science économique, d'une réponse théorique relativement claire et ensuite à la formalisation et à l'application, à travers un exemple concret à savoir l'érosion du sol, des instruments et des politiques proposés par ces différentes approches. En effet, si les volets de l'internalisation des externalités environnementales d'origines industrielles reçoivent souvent des réponses théoriques relativement claires, la conception, l'internalisation et la mise en œuvre des externalités liées à la production agricole restent toujours très délicates étant donné la non linéarité de la relation entre la production agricole et ses impacts environnementaux et la non-convexité³ de ces fonctions d'externalité qui en résultent.

Le phénomène d'érosion du sol constitue un exemple concret illustrant la relation agriculture-environnement dans la mesure où l'agriculture en tant qu'activité économique participe directement ou indirectement au développement du problème. En effet, si plusieurs facteurs d'ordre naturels comme la pluie, le vent, la pente, le ruissellement et le sol jouent un rôle primordial dans l'aggravation de l'érosion, les facteurs d'ordre socio-économiques, sur lesquels porte notre intérêt, tels que les pratiques culturales, les techniques de production et les politiques économiques sont à ne pas négliger.

Pour nous limiter aux sols agricoles, l'érosion constitue un sujet de préoccupation croissante et une problématique permanente tant par son étendue et son ampleur que par la diversité de ses origines et de ses conséquences. Une telle problématique nécessite une réflexion particulière aussi bien sur le plan théorique que pratique, surtout que cette érosion n'affecte pas uniquement l'agriculteur lui-même, sur un pas de temps tel qu'il n'en tient pas complètement compte dans ses calculs immédiats, mais elle constitue une externalité immédiate et permanente.

³ Les problèmes de non-convexité des fonctions d'externalités, même s'ils ont déjà été démontrés par J. M. Boisson (1970) et par Vermersch (1992), restent, néanmoins, non empiriques.

➤ *Doit-on considérer l'érosion⁴ comme une externalité par sa nature liée à la production et qu'il faut chercher à internaliser par le biais des instruments réglementaires et économiques ou bien comme un phénomène d'extraction de la ressource naturelle - sol et dont il faut élaborer des indicateurs et des normes environnementaux d'extraction sur des bases techniques ?*

➤ *Quels sont les effets des pratiques agricoles, des techniques culturales et de politiques agricoles, notamment les politiques des prix, sur le problème d'érosion du sol ? Quel est le degré d'efficacité des politiques et des mesures environnementales mises en œuvre pour lutter contre le problème d'érosion ?*

➤ *Comment les exploitants agricoles vont concilier leurs objectifs économiques et la conservation de la ressource en sol notamment ceux des pays en développement qui se sont engagés à ouvrir leurs espaces économiques aux règles de la libéralisation du commerce international et aux risques de la concurrence étrangère et par voie de conséquence à l'intensification ?*

➤ *Quels sont les pratiques, les instruments (préventifs et curatifs) et les mesures les plus efficaces d'un point de vue économique aussi bien qu'écologique qui peuvent être envisagés pour lutter contre ou du moins réduire les effets directs de ce phénomène ?*

Approche méthodologique et positionnement théorique

Notre recherche s'inscrit dans une perspective d'analyse des rapports d'interaction entre les techniques de production, la politique agricole et certains problèmes concernant l'environnement et les ressources naturelles à savoir l'érosion de sols, elle nécessite d'une part, la recherche dans la théorie économique d'une approche capable de tenir compte à la fois des aspects économiques et écologiques de l'activité économique et en particulier l'activité agricole et d'autre part l'emploi des outils de modélisation les plus adéquats à ce propos.

Malgré sa domination sur les théories économiques et son apparition en tant que leader des paradigmes économiques courants, l'approche néoclassique se trouve aujourd'hui interrogée sur sa capacité à affronter les nouveaux défis tels qu'ils sont posés par la forme très complexe de certaines relations entre la production agricole

⁴ L'érosion considérée ici est celle induite par les facteurs socio-économiques (les pratiques culturales, les techniques de productions, etc.). L'érosion induite par les facteurs naturels est considérée comme exogène. Elle suscite des comportements internalisés et fait l'objet de mesures palliatives comme la construction des banquettes, la consolidation des ouvrages, l'implantation des bandes enherbées, etc.

et ses impacts environnementaux. Rien n'est moins sûr si l'on tient compte d'une certaine recomposition du paysage théorique appelant à la constitution d'une « économie-écologique ». Au sein de cette recomposition figurent divers courants de pensées tels que les courants évolutionniste, éco-énergétique, néoautrichien, institutionnaliste, thermodynamique, et plus récemment l'économie écologique «ecological economics ». Malgré cet éclectisme, l'ensemble de ces analyses vise à relativiser la portée de la théorie des ressources naturelles et de l'environnement d'inspiration néoclassique, en montrant que les hypothèses sur lesquelles elle repose, et par voie de conséquence les méthodes et les outils utilisés par cette dernière sont souvent inadéquats pour appréhender l'interface économie-environnement dans toutes ses dimensions.

L'approche économie écologique, dont l'ambition est de mettre en perspective la théorie standard tout en restant suffisamment ouverte pour qu'une complémentarité entre les méthodes et les outils analytiques puisse être réalisée, constitue l'une des principales approches capables d'affronter la complexité du secteur agricole où les phénomènes biologiques interviennent fortement sur l'économie des choix techniques.

Les méthodes classiques qui reposent généralement sur l'utilisation des fonctions de production traditionnelles issues de la convergence de l'inférence statistique et de la théorie économique standard néoclassique présentent certaines limites pour traiter des rapports agriculture-environnement. Construire des fonctions de production suivant les formes mathématiques les plus "confortables" dans le secteur agricole, où des phénomènes biologiques agronomiques et écologiques interviennent fortement sur l'économie des choix techniques, est loin d'être pertinent. Etablir les rapports entre les techniques de production, la politique agricole et les problèmes d'environnement, particulièrement lorsqu'on se trouve face à des changements considérables des prix relatifs entre inputs, et/ou inputs et produits, ne peut se faire en utilisant des données du passé ou du présent, base de la plupart des analyses de gestion et modèles économétriques traditionnels.

La présence de ces limites, nous a conduit à développer une autre méthodologie basée sur la construction des fonctions de production "d'ingénieur", en utilisant des informations sur les coefficients techniques fournies par le savoir des agronomes.

La modélisation bio-économique, qui est la nôtre, fondée sur le couplage d'un modèle biophysique et d'un modèle économique, fait partie de ce type de

méthodologie. Elle s'insère dans une démarche méthodologique, parfois explicite mais le plus souvent implicite, qui concerne les fonctions de production.

Les modèles biophysiques qui sont considérés par l'économiste comme des fonctions de production d'ingénieur très détaillées, permettent de tenir compte du caractère très complexe de certaines relations entre la production agricole et ses impacts environnementaux. L'application du modèle biophysique, dans le cadre de cette recherche a un triple objectif : simuler les effets du sol, du climat, des pratiques et des rotations culturales sur l'érosion du sol, puis l'effet à long terme de celle-ci sur le rendement des cultures, évaluer les effets à long terme des techniques anti-érosives sur l'érosion et sur les rendements des cultures et fournir les coefficients techniques destinés à être incorporés dans la matrice du modèle économique.

Le développement des modèles biophysique et leur couplage avec des modèles socio-économiques apparaît comme un champ d'investigation prometteur pour rapprocher agro-écologie et agro-économie et au-delà pour impliquer un positionnement clair dans le courant de l'économie écologique qui privilégie le travail pluridisciplinaire avec l'utilisation -dans un contexte limité- des concepts de la démarche néoclassique orthodoxe des économistes de l'environnement. Ce rapprochement est consolidé par les spécificités suivantes : en premier lieu, la fonction de production d'ingénieur obtenue à partir du modèle biophysique n'introduit pas l'extrême latitude de substitution des fonctions de production économiques habituelles ; en second lieu, exprimant production et externalités environnementales en terme physique, elle permet d'éviter des évaluations monétarisées intermédiaires des effets environnementaux et s'inscrit dans une approche d'économie écologique couplant l'agronomie et l'économie (Boisson J.M. 1984). Enfin, l'intégration d'une modélisation biophysique comme composante de modèles économiques est favorable à la création de programmes de recherche appliquée, efficaces dans le secteur où des phénomènes biologiques interviennent fortement sur l'économie des choix techniques.

Il faut observer, cependant que, la modélisation bio-économique emprunte évidemment à la théorie économique et à sa praxéologie dans la phase de simulation des comportements des agents, mais en la soumettant à une ouverture pluridisciplinaire et en refusant systématiquement, du moins au départ, une approche purement normative. En effet, il ne s'agit pas de rechercher les meilleures manières de gérer efficacement les relations agriculture-environnement naturel mais, plus modestement et plus prosaïquement, de trouver les moyens de rassembler et même

constituer l'information pertinente sur ces relations, avant de la traiter, et de l'utiliser. L'idée par conséquent d'abandonner le déterminisme général de l'analyse économique traditionnelle tout en conservant ses instruments d'analyse lorsqu'ils sont pertinents.

L'application de la modélisation pour notre recherche se situe à une échelle intermédiaire. L'échelle micro-économique au niveau individuel, reste toujours insatisfaisante. L'activité de l'exploitation s'insère dans un environnement, devenu très complexe dans les économies développées, capitalistes et socialistes, sur lequel elle a plus ou moins la possibilité d'intervenir. En revanche, l'environnement économique de l'exploitation peut être, selon sa taille, considéré comme une donnée ou être susceptible de se modifier sous l'effet de ses actions. L'échelle macro-économique, bien que fondamentale pour fixer certaines variables comme les taux d'intérêts ou de change, très importants pour tous les secteurs, ne s'adapte qu'assez mal, sauf exception (comme par exemple les changements climatiques globaux) à l'analyse de phénomènes environnementaux localisés, comme par exemple, l'érosion. C'est pourquoi notre analyse reposera sur une base micro-économique, partant des agents individuels pour les agréger dans le cadre d'un équilibre régional.

Le choix de cette dimension régionale se justifie aujourd'hui peut-être plus que par le passé étant donné que la libéralisation actuelle des politiques économiques peut entraîner un risque de concentration de l'activité économique dans certaines zones alors que d'autres pourraient se voir progressivement marginalisées et abandonnées. Le danger d'un développement régional inégal est donc réel, alors qu'on connaît les conséquences négatives d'un modèle économique fondé exclusivement sur l'expansion de régions urbanisées. Ce type de problème serait susceptible ultérieurement d'une analyse à un niveau méso-économique.

Pour préparer cette approche au niveau méso-économique, nous allons construire un modèle d'équilibre partiel obtenu en intégrant, dans un même modèle, les caractéristiques de plusieurs exploitations représentatives et celles des ressources régionales ainsi que la demande régionale globale. Les interactions entre les différents acteurs sont alors définies de manière explicite.

Le modèle de programmation mathématique utilisé sera de type dynamique avec adaptation retardée pour traduire le fait que l'adaptation des producteurs aux prix de marché demande un certain temps. La quantité demandée à une période quelconque dépend du prix de cette période, mais la quantité offerte dépend du prix de la période

précédente ce qui pourra aussi introduire des phénomènes de type «Cobweb » Les plans de production sont faits sur le prix du marché à l'automne alors que la production ne se matérialise qu'un an plus tard.

Domaine d'application de la modélisation bio-économique

La problématique de la relation agriculture-environnement est posée dans tous les pays du monde avec plus ou moins d'acuité selon le niveau de développement. Dans les pays de la Méditerranée, dont la Tunisie, cette problématique constitue constamment et plus encore qu'ailleurs, le centre de préoccupations de la société du fait de la sécheresse estivale et de l'importance des phénomènes d'érosion et de désertification.

Le problème de l'érosion des terres, en Tunisie, n'est pas nouveau, et les différentes civilisations qui se sont succédées sur son territoire ont su maîtriser les processus érosifs et prévenir leur développement par des techniques empiriques appropriées, sans cesse améliorées et intégrées dans les systèmes d'exploitation des ressources naturelles (sol, eau, forêt, parcours). Cependant, tout au long de ce siècle qui s'achève, la conjugaison de facteurs naturels propices à la dégradation des sols (régimes pluviométriques agressifs, fragilité des écosystèmes naturels...) avec une pression anthropique croissante sur l'ensemble des ressources naturelles et l'importation de techniques de production plus puissantes mais plus agressives pour l'environnement n'a pas tardé à provoquer des déséquilibres se traduisant par des processus érosifs tant hydriques qu'éoliens d'intensité variable dans les différents contextes socio-agro-géographiques du pays.

Le besoin de centrer l'analyse au niveau régional, par la présentation d'un modèle d'équilibre partiel nous amène à restreindre l'étude à un cas bien déterminé sans que cela implique pour autant une perte de représentativité du travail. Cette tâche est pourtant très délicate malgré la relative homogénéité du phénomène d'érosion dans toutes les régions. Le cadre retenu est la région de Zaghouan d'une superficie de 287 562 ha, située au nord-est de la Tunisie dans l'étage bioclimatique "semi-aride supérieur et moyen" avec une pluviométrie moyenne comprise entre 350 et 450 mm.

Plan du travail de la recherche

La présentation de notre travail est peut-être un peu conventionnelle. Mais, étant donné la complexité du sujet traité à la frontière de l'approche économique au sens strict et de l'agronomie, elle nous a paru pertinente pour faciliter la lecture et la compréhension de la démarche entreprise et justifie le soin que nous avons mis à

rapporter nos recherches préalables du point de vue théorique.

Ainsi, dans le premier chapitre de la première partie, nous présentons un aperçu sur les principales approches économiques contemporaines, d'inspirations épistémologiques différentes, qui traitent les problèmes d'environnement et des ressources naturelles à savoir l'approche des économistes de l'environnement, l'approche de "l'Ecole de Londres"⁵ et l'approche économie écologie. Un tel aperçu permet d'avancer une réflexion sur la manière dont ces approches ont abordé jusqu'ici ce domaine d'investigation et quels ont été leurs apports et leurs limites, en matière d'analyse comme en matière d'application.

Dans un deuxième chapitre nous développons tout d'abord et après un bref aperçu sur les différentes formes de relations qui existent entre l'agriculture, l'environnement et les ressources naturelles, la problématique actuelle de l'interface agriculture-environnement vue par la science économique et ceci à travers un exemple concret tel que l'érosion du sol. Ce développement permet de tenir compte du caractère très complexe de certaines relations entre la production agricole et ses impacts environnementaux qui induit le plus souvent des fonctions de productions non-convexes y compris la production d'externalité. Bien que cette complexité trouve dans la science économique standard et par le biais de la théorie de l'externalité, des réponses théoriques assez claires, nous avons démontré, à l'aide du modèle biophysique et à travers l'exemple de l'érosion qu'il y a certaines nuances (théoriques et pratiques) qui nous éloignent de cette approche et de ses instruments et qui nous amènent à choisir un outil alternatif mieux adapté au traitement de ce phénomène et de notre problématique en général.

Dans le troisième chapitre de la même partie, nous présentons la méthodologie pratique qui utilise cet outil alternatif pour traiter au niveau meso-économique la problématique de l'interface agriculture-environnement à travers l'exemple de l'érosion. Pour définir et justifier cette démarche, qui emprunte beaucoup à la théorie économique standard et à sa praxéologie ainsi qu'à d'autres théories et disciplines, nous avançons ses spécificités, son positionnement théorique au sein de différentes approches existantes ainsi que les raisons de son choix.

La deuxième partie est consacrée à l'application et à la construction du modèle bio-économique. Elle débutera par un premier chapitre qui s'intitule « la caractérisation

⁵ Cette dénomination est proposée par FAUCHEUX et NOEL, elle nous est apparue commode, même si nous pouvons la trouver un peu "exagérée".

du domaine d'étude » et dans lequel nous présentons en premier lieu l'état de l'environnement naturel en Tunisie ainsi que la politique nationale dans ce domaine et en deuxième lieu la région de Zaghouan, en tant que terrain d'application de notre recherche. Ensuite et dans un deuxième chapitre, nous continuons par une présentation et une construction du modèle biophysique (EPICPHASE) afin d'obtenir les coefficients techniques en terme de rendement et d'érosion destinés à être incorporés dans le modèle économique. Finalement, dans un troisième chapitre, nous exposons au préalable un modèle économique simple de maximisation sous contrainte qui sera appliqué à plusieurs exploitations représentatives de la région et dans lequel nous allons caractériser le comportement micro-économique des producteurs et ensuite un modèle agrégé, dans lequel on essaye de relier l'ensemble de ces modèles d'exploitations représentatives et ceci afin de visualiser les relations et les interactions entre ces exploitations et de donner des indicateurs tant au niveau de la croissance du secteur qu'au niveau des effets structureaux en tenant compte d'une fonction objectif «sociale».

Dans la dernière partie nous exposons avant toute chose les résultats de différents modèles économiques de base de chaque exploitation employés pour reproduire les systèmes de productions de celle-ci ainsi que ceux du modèle agrégé de base (chapitre 1), ensuite nous simulons l'effet de diverses politiques agricoles et environnementales possibles tout en analysant les résultats qu'elles peuvent générer et en proposant dans la mesure du possible d'autres politiques alternatives (chapitre 2).

En conclusion, nous réalisons, après avoir synthétisé l'ensemble des résultats, une analyse critique de l'approche utilisée et esquissons les développements futurs complémentaires qui permettront d'améliorer la représentation de la réalité ainsi que la qualité des résultats obtenus.

PREMIERE PARTIE :
RELATION AGRICULTURE ENVIRONNEMENT :
POSITIONNEMENTS THEORIQUES,
PROBLEMATIQUE ET CHOIX
METHODOLOGIQUES

CHAPITRE 1 : ECONOMIE, ENVIRONNEMENT, AGRICULTURE : LES POSITIONNEMENTS THEORIQUES

Introduction

Dans tout travail de recherche, la problématique et les éléments de constat engagent la sélection d'une grille d'analyse théorique qui n'est pas toujours facile à mettre en œuvre du fait de la convergence de plusieurs champs d'analyse économique et de la difficulté de tracer les limites et frontières de chacun d'entre eux. Le présent travail, s'inscrit dans une perspective d'analyse des rapports d'interaction entre les techniques de production, la politique agricole et certains problèmes concernant l'environnement et les ressources naturelles à savoir l'érosion de sols. Il nécessite la recherche dans la théorie économique d'une approche capable de tenir compte à la fois des aspects économiques et écologiques de l'activité économique et en particulier l'activité agricole et de franchir le seuil épistémologique de première grandeur qui sépare encore les sciences de la société des sciences de la nature, sans parler des cloisonnements internes à chacune des disciplines considérées et sans étudier les interactions entre les activités humaines et les milieux biophysiques.

Les recherches mobilisées par les sciences économiques pour étudier les interactions et les conflits reflétant l'antagonisme des positions entre les activités économiques et l'environnement en général et entre ce dernier et l'agriculture en particulier se sont beaucoup développées ces dernières décennies. Il n'est alors pas étonnant de voir les recherches économiques relatives à l'environnement et les ressources naturelles se partager, non seulement entre plusieurs paradigmes et écoles de pensées, mais surtout entre des démarches s'attachant à saisir la singularité des questions environnementales, voire ayant le projet de refonder l'approche économique⁶ et des démarches d'extension des domaines d'application du corpus théorique et méthodologique existant.

Cependant, étant donné qu'il est impossible d'avancer toutes les approches existantes dans ce domaine, nous nous limiterons à trois approches contemporaines ayant un objectif commun à savoir l'analyse et la résolution des problèmes environnementaux mais d'inspiration épistémologique différentes et couvrant plusieurs domaines distincts, bien que se chevauchant en partie : approche des économistes de l'environnement, approche dite de "l'Ecole de Londres", et approche

⁶ C'était le projet explicite des maîtres-ouvrages de N. Georgescu-Roegen (1971) ou R. Passet (1995) (exemple).

"économie écologique". Ces approches couvrent une grande variété de questions, appréhendées à des échelles très différentes, du niveau le plus local à celui de la planète. Mais, avant de se lancer dans ces trois approches ainsi que dans leurs paradigmes d'inspiration, il serait utile d'avancer un bref éclaircissement sur le débat classique : l'environnement est une affaire d'Etat ou du marché ?

I. Les paradigmes : les grands regards de la théorie

La diversité des regards portés par la théorie économique, sur les phénomènes de l'environnement et de la biosphère, oriente le choix des politiques et des instruments à mettre en œuvre et en conditionne les résultats comme les limites. Ce paragraphe empruntera beaucoup à la vision et la présentation remarquable de R. Passet (1991) qui propose de distinguer :

1.1 L'univers mécanique

"La conception mécaniste issue de l'univers horloger, de Galilée, Descartes et Newton, semblait trouver son apogée au XIX^e siècle avec l'avènement de la machine à vapeur. Cette conception est celle d'un univers mécanique entièrement déterministe, réversible et répétitif tournant sur lui-même, sans venir de nulle part, sans aller nulle part, sans se construire ni se détruire, donc éternel" (Passet R., 1991, p 45).

L'autorégulation de cet univers est totale, sa position, comme paradoxalement son mouvement, sont figés pour toujours. Même s'il subit en un point quelconque une perturbation momentanée, il retourne immédiatement et fatalement à l'équilibre.

Ce paradigme mécaniste influence fortement les théories économiques contemporaines de sa suprématie. Celles-ci vont chercher à découvrir, sur le modèle newtonien, la loi gouvernant l'économie et à rendre ainsi autonome la sphère économique. Ce cheminement s'est fait en plusieurs étapes. Le départ était avec les travaux de Locke, qui, comme l'explique Dumont (1977), a substitué « la primauté de la relation de l'homme aux choses(...) à la primauté des relations entre les hommes », ensuite avec Mandeville, suite de la *fable des abeilles*, qui a pu faire l'insoumission à la morale pour qui l'individu n'avait pas à définir son comportement par rapport à la société mais seulement par rapport à son propre intérêt, passant par Smith qui, grâce à la main invisible, a doté l'économie d'un « ordre naturel » spécifique, détaché de ses dépendances antérieures vis-à-vis du devin, du

Encadré 1.1. La question de l'environnement : une affaire d'Etat ou du marché ?

Les dommages excessifs causés aux ressources naturelles et à l'environnement - que le phénomène soit national, transnational ou mondial - sont généralement imputables soit aux défaillances du marché les fameuses "*market failures*" de F.M. Bator (1958) soit aux défaillances de l'Etat, les "*government failures*" de J.M. Buchanan et l'école du "*public choice*".

L'Etat au secours de l'environnement

Pour les libéraux le succès d'une économie dépend d'un bon fonctionnement du marché, qui transmet, par l'intermédiaire des prix, des signaux quant à la rareté relative des différentes ressources, et alloue ces ressources aux utilisations où elles seront les plus précieuses.

Toutefois, les marchés ne parviennent pas en règle générale à atteindre l'idéal que constitue l'allocation optimale des ressources et la satisfaction des préférences, et ils sont dans certains cas tout à fait défaillants au sens qu'ils n'existent même pas. En effet, comme l'indique T. Panayotou (1993) "la mauvaise gestion et l'utilisation inefficace des ressources naturelles résulte en grande partie du fait que les marchés fonctionnent mal ou avec des distorsions ou sont même totalement inexistants. Les prix générés par de tels marchés ne reflètent pas la vérité des coûts et des avantages sociaux de l'utilisation des ressources. Ces prix donnent des informations trompeuses quant à la rareté des ressources, et ne fournissent que des incitations inadéquates à la gestion, à l'utilisation efficace et à la conservation des ressources naturelles".

Les défaillances du marché englobent plusieurs éléments, mais en règle générale, il y a défaillance du marché lorsqu'il y a un écart entre les coûts sociaux et les coûts (ou avantages) privés. Trois d'entre elles sont énumérées par R.A. Young et qui nous semblent revêtir une gravité particulière dans le cas des ressources naturelles et de l'environnement.

"Chaque fois que les marchés sont tenus ou absents, chaque fois que la demande et l'offre révélées aux marchés ne captent qu'une part des coûts ou des avantages sociaux, chaque fois qu'un bien a des caractéristiques de bien public de par un de ses rôles, ce bien peut être alloué de manière plus efficace grâce à l'intervention publique" (Young R. A., 1993).

● **Présence des biens collectifs** : au sens strict du terme, un bien collectif est un bien qui présente les deux caractéristiques suivantes :

* **Principe de non rivalité** : peut être consommé simultanément par une ou plusieurs personnes sans que la consommation de l'une diminue la quantité disponible pour les autres.

* **Principe de non exclusion** : on ne peut pas exclure le consommateur. Le bien est mis à la disposition de tous les consommateurs dès qu'il est mis à la disposition d'un seul.

Ces biens ne peuvent être consommés que collectivement et le marché est incapable de les allouer. Personne n'est prêt à payer puisque ces biens sont mis à la disposition de tous dès qu'ils sont mis à la disposition d'un seul. L'Etat doit donc intervenir pour financer la production de ces biens. Cette intervention peut prendre diverses formes : une réglementation pour assurer la régularité d'usage et la préservation d'une fonction donnée du bien, des investissements publics, une appropriation publique ou une gestion publique dans le but de fournir des productions.

politique et de la nature, arriver enfin grâce à Hamilton, vers le milieu du XIX^e siècle, qui avait complété le travail de Lagrange pour aboutir à une formule générale de maximisation. C'est ce moment-là que choisit la pensée néoclassique pour adhérer explicitement et le plus totalement au paradigme newtonien (Faucheux S., Noël J.F., 1995).

L'influence de ce paradigme sur l'analyse économique classique puis néoclassique va conduire à une appréhension « économiste » de la nature. En effet, contrairement aux physiocrates, pour qui l'économie devait se soumettre aux lois de l'univers, chez les néoclassiques, « l'économie va se replier sur elle-même et chercher à définir ses propres lois sans se préoccuper de celles de l'univers environnant, tant il va de soi que ses lois sont identiques » (Passet R., 1979). L'économie est devenu, donc, unidimensionnelle et sa démarche totalement réductionniste.

Le marché apparaît alors non seulement comme le mécanisme de régulation économique, mais aussi comme le mécanisme de régulation sociale et bientôt comme le mécanisme de régulation de la nature. Il ne s'agit pas de l'accession de la société à la dimension économique, mais plutôt de la réduction de la totalité de la société, et même de la nature, à l'économie (Faucheux S., Noël J.F., 1995).

1.2 L'univers thermodynamique

La matière utilisée pour produire de l'énergie n'est pas réutilisable. Elle n'est pas détruite, elle change seulement d'état (principe de conservation), mais, dispersée dans l'univers, elle ne peut pas servir une seconde fois. Le deuxième principe de la thermodynamique, l'entropie, correspond à la dégradation de ces ressources.

Curieusement, l'économie néoclassique naissante gardera les yeux fixés, nous l'avons vu, sur la mécanique rationnelle, et ne tiendra pas compte du renouvellement théorique apparu en physique avec le paradigme thermodynamique. Marx et Engel manifesteront davantage d'intérêt pour la nouvelle discipline, même s'ils n'adhèrent pas à toutes ses conclusions⁷.

S'agissant de la nature, Marx (cité par Passet R., 1996) écrit que « la production capitaliste (...) ne fait qu'épuiser les deux sources originelles de toute richesse : la terre et les travailleurs ». Toutefois, il faudra attendre des travaux plus contemporains s'attachant à l'économie de l'environnement pour trouver une

⁷ La philosophie de Marx et Engels relève sans aucun doute, comme le signale R. Passet (1996), de la « destruction créatrice » bien plus que de la dégradation entropique de l'énergie. Ceci se manifeste essentiellement dans leur processus dialectique ainsi que dans leur sociologie.

② **Présence d'externalités** : Une externalité peut être définie comme *"l'interdépendance entre les fonctions caractéristiques des agents économiques qui créent des avantages ou des inconvénients qui ne font pas l'objet de choix de part et d'autre"* (Boisson J.M., 1970). Ces interdépendances non arbitrées conduisent à une divergence entre les coûts individuels des activités économiques et les coûts sociaux. L'Etat doit donc intervenir pour "internaliser" ces externalités surtout lorsque celles-ci compromettent l'apparition d'un optimum.

③ **Rendements croissants** : En cas de rendements croissants, le coût marginal se situe systématiquement en dessous du coût moyen : le comportement optimal qui exige une égalisation du prix et du coût marginal conduit l'entreprise au déficit. C'est ce qui conduit les pouvoirs publics, pour éviter les positions dominantes, à prendre en charge tout ou partie de ces déficits. Cette situation, moins courante que les effets externes au niveau de la production agricole, se trouve sur les ressources naturelles, l'eau d'irrigation en particulier.

Ces défaillances des marchés constituaient une justification fondamentale de l'intervention des pouvoirs publics et correspondaient bien au paradigme dominant à savoir que seule la puissance publique par sa compétence et sa vocation de service public était à même de résoudre des problèmes complexes et nouveaux concernant pour l'essentiel des biens communs tel que l'eau, le sol, l'air...

Le marché au secours de l'environnement

Les défaillances des politiques -surtout au niveau microéconomique- constituent l'autre grande cause de dégradation de l'environnement et correspondent bien au paradigme libéral à savoir que l'action de la puissance publique non seulement ne résolvait pas tous les problèmes mais, dans certains cas, entraînerait des effets pervers aboutissant à des blocages et des coûts de plus en plus élevés pour la collectivité.

En effet, les pouvoirs publics ont montré qu'ils ne sont pas des gardiens parfaits de l'intérêt national, et leurs interventions sur les marchés ont souvent empiré les situations. Comme l'indique D. Pearce (1995) "l'intervention de l'Etat en économie, peut produire une allocation moins efficiente des ressources naturelles que celle obtenue par le marché".

L'expression « défaillance de l'Etat » recouvre à la fois des actions et des omissions - ne pas réussir à remédier aux distorsions et aux biais du marché, mais aussi introduire de nouvelles distorsions ou aggraver celles qui existent déjà. Parmi les défaillances enregistrées dans le domaine agricole on peut citer : faiblesse des prix de l'eau d'irrigation, subventions aux pesticides, faiblesse des redevances d'exploitation forestière, etc.

Comme les défaillances du marché et des pouvoirs publics existent dans beaucoup de pays et qu'elles compromettent à terme la croissance et le développement de certains d'entre eux, les gouvernements se rendent de plus en plus compte qu'ils ne peuvent plus ignorer l'interdépendance qui existe entre l'économie et l'environnement. Le défi à relever est double : d'une part, minimiser les effets néfastes éventuels de la politique macro-économique sur l'environnement et, d'autre part, assurer la protection de l'environnement sans compromettre les performances économiques du pays.

influence explicite des lois de la thermodynamique sur l'analyse économique. N. Georgescu-Roegen, notamment avec son ouvrage *The Entropy Law and the Economic Processus* (1971), est le plus grand précurseur à qui revient l'inestimable mérite d'avoir clairement inscrit le développement économique dans le courant de l'entropie universelle qu'il ne peut, selon lui, qu'accélérer.

Actuellement, il apparaît que l'ensemble des grands courants de l'économie des ressources naturelles et de l'environnement a été influencé par le paradigme thermodynamique. Parmi les plus célèbres de cet ensemble de courants, on trouve "l'Ecole de Londres", dont l'initiateur est David Pearce, qui est qualifiée, par Faucheux S. (1996), d'intermédiaire entre l'optimisme et le pessimisme. Les auteurs de ce courant fournissent une vision de l'économie et de l'environnement totalement circulaire et soumise à trois contraintes environnementales (la capacité d'assimilation de l'environnement ne doit jamais être dépassée, les capacités de renouvellement ne doivent pas être entravées et l'effort de substituabilité entre les ressources épuisables et d'autres dites renouvelables doit être augmenté), non plus relatives mais absolues en raison de la prise en compte simultanée des deux lois de la thermodynamique. L'analyse de ce caractère circulaire permet non seulement la remise en cause de la perspective économique traditionnelle et de sa logique d'optimisation, mais surtout de souligner le caractère multidimensionnel des biens et des services environnementaux. Ce qui signifie l'existence de limites aux possibilités de substitution et à l'optimisme irraisonné quant aux applications de progrès techniques à ces biens et services. En effet, selon ce courant, le capital naturel doit être distingué des autres formes de capitaux, ce qui signifie, dans son optique du développement soutenable, que c'est le stock global de capital naturel qui doit être maintenu constant (Barbier et Markandya, 1990, cité par Faucheux S., Noël J.F., 1995). D'où l'existence d'une grande rupture avec l'approche du courant néoclassique tenant de la soutenabilité faible (maintien d'un stock de capital global) et de la substituabilité illimitée entre les deux formes de capitaux.

Toutefois, devant la difficulté de trouver des unités de mesure homogènes afin d'évaluer physiquement chacune des trois contraintes environnementales absolues qu'ils ont proposé, les auteurs de "l'Ecole de Londres" suggèrent une évaluation de ces dernières par le biais des méthodes traditionnelles de révélation des préférences, reposant sur le consentement à payer des individus. Ceci place cette approche dans une position intermédiaire, entre l'optimisme déclaré de l'Ecole néoclassique et le pessimisme tout aussi affiné des approches naturalistes, tout en tendant peut-être davantage vers la première.

1.3 L'univers de la destruction créatrice

Les relations entre nature et économie ont trouvé un troisième type d'interprétation avec le développement puis l'application de ce que l'on a pu appeler le paradigme de la destruction créatrice. Il s'est constitué à partir d'une nouvelle branche de la thermodynamique spécifique aux systèmes vivants, la thermodynamique du non équilibre de Prigogine, avec la théorie de l'information appliquée au vivant et une conception systémique propre aux systèmes complexes.

La thermodynamique des systèmes non isolés de Prigogine, dite encore thermodynamique des structures dissipatives, entend réconcilier ou résoudre la contradiction entre la thermodynamique classique, qui confirme que l'action humaine ne peut qu'accélérer la dégradation de la planète, et entre la théorie darwinienne que la biosphère finit toujours, quoique nous fassions, par s'autoréguler.

L'influence de ce paradigme, qui va en croissant sur l'ensemble de la pensée économique contemporaine, se marque en économie dans ce qu'il est convenu d'appeler les « théories évolutionnistes ». Toutefois, c'est probablement dans les travaux de la nouvelle Ecole qualifiée d'économie écologique (*Ecological economics*) que l'influence de ce paradigme est la plus manifeste et la plus intéressante.

Selon ce courant, le problème économique devient celui d'harmoniser les deux processus de destruction créatrice qui sont l'évolution de la biosphère et le développement (J. Schumpeter) ou, pour reprendre l'expression de Vincent Labeyrie, « d'insérer le développement économique dans l'escalade coévolutive de la nature » (Passet R., 1991).

L'analyse des liens entre économie et environnement qu'offre ce nouveau paradigme, montre que les hommes dans leurs activités productives ne sont pas seulement des utilisateurs d'énergie et de matière première soumises à l'entropie, mais qu'ils sont aussi des inventeurs et des constructeurs, à la source d'information. Il n'y a remise en cause ni des enseignements de la thermodynamique classique, ni de l'intérêt de la vision ouverte qu'elle offre des liens entre économie et environnement. Donc, on tient compte des contraintes écologiques absolues imposées par les deux premières lois de la thermodynamique, mais ces contraintes ne doivent être ni monétarisées, ni considérées comme fixes ou constantes. Elles se modifient en fonction de la « coévolution ». En effet, lorsque les recherches entendent ramener un phénomène complexe à sa seule dimension monétaire, marquent au contraire, une évolution vers une économie multidimensionnelle

qu'exige l'intégration harmonieuse des activités humaines dans les processus évolutifs de la biosphère. La question fondamentale ici n'est plus de corriger mais de prévenir. Pour cela, c'est le développement tout entier qui doit être conçu de façon à respecter les mécanismes de la coévolution créatrice.

II. La relation activité économique environnement : les premières approches économiques

L'introduction des ressources naturelles et de l'environnement dans la théorie économique et dans les choix politiques est le fruit d'une mobilisation sociale et d'un esprit de responsabilité publique liée à l'émergence des problèmes qui datent d'une vingtaine d'années. C'est en effet au début des années soixante qu'émergent publiquement les préoccupations liées aux interactions entre l'environnement et les activités économiques, bien que, dès les années cinquante et même avant, des auteurs comme Gray (1914), Hotelling (1931), Faustman (1949) et Gordon (1954) ont fait des avancées dans l'analyse des allocations des ressources naturelles qu'elles soient renouvelables ou épuisables.

Toutefois, à cette date, l'intérêt pour cette nouvelle branche de l'économie était plutôt faible, malgré la qualité théorique et la validité pratique de ces études et malgré le sentiment que la question n'est pas du tout marginale.

Les économies les plus développées, Etats-Unis, Angleterre, Japon, vont tout d'un coup prendre conscience du fait que la croissance économique de longue durée et une industrialisation exaspérée produisent non seulement des avantages, mais provoquent aussi des dégâts souvent très difficiles, voir impossible, à réparer. Ce sont les années de l'alarme pour la pollution dans les grandes villes ; de l'attention sur les conséquences de l'agriculture chimique sur les sols, les eaux et la faune sauvage. Dans la même période, les premiers phénomènes de dégâts irréversibles se manifestent : la pollution des eaux internes (l'alarme est lancée pour les grands lacs entre Etats-Unis et Canada), la corrosion du patrimoine artistique dans les villes à causes des pluies acides ou encore la pollution des mers.

La présence de ces problèmes a fait le bonheur d'un petit groupe d'économistes qui se sont engouffrés dans la brèche et ont ainsi trouvé pour la discipline un nouveau front pionnier à défricher ; on remarque cependant que les principaux sont d'origine et de formation anglo-saxonne. Un bref rappel de quelques-unes de ces

Encadré 1.2. Relation activité économique environnement : les thèses en présence

La question développée dans cette section par Sprenger R.U (1995) concerne le rapport entre les activités économiques et la sauvegarde de l'environnement. L'importance de cette question tient au fait qu'elle soit un cas typique de toute question relevant d'un conflit d'intérêt entre l'agent moral qu'est l'être humain et le sujet moral que représente l'environnement dans la majorité des débats politico-économiques.

Une relation de couplage

Selon une première thèse, il n'existerait à proprement parler aucune relation significative entre activité économique et protection de l'environnement. Parmi les tenants de cette position figure, par exemple, l'Institut pour l'économie mondiale de Kiel, selon lequel «il n'y a pas de couplage entre la masse d'émissions polluantes imposée à l'environnement d'une part et le niveau et les variations du rythme de l'activité économique d'autre part»

Il s'agit d'un problème à propos duquel sont généralement formulées des hypothèses très controversées. Pour certains, le découplage développement économique/pollution résulterait de phénomènes de substitution et d'économie dans l'utilisation des ressources et, en soi, un arrêt de la croissance ne provoquerait aucune réduction significative des émissions polluantes. Pour d'autres, la croissance impliquerait inévitablement l'augmentation de la consommation d'énergie et de matières premières et, du même coup, celle des émissions polluantes, entendues au sens de rejets solides, liquides et gazeux.

Les informations disponibles semblent donner raison aux pessimistes. En effet, depuis longtemps, on considère qu'un accroissement donné de la production détermine un accroissement donné de la pollution. Le découplage, quand il existe, n'est finalement que relatif, les bonnes performances enregistrées dans certains domaines se traduisant par l'apparition de nouveaux types d'émissions polluantes. Les partisans de la thèse du découplage paraissent ainsi faire preuve d'un enthousiasme à courte vue, les succès spectaculaires enregistrés dans certains domaines ne devant pas masquer le nombre de problèmes qui restent sans solutions, et le plus souvent occultés, comme celui des pollutions cumulatives ou celui du stockage des matières et déchets dangereux. A négliger ou, pire, à nier la relation existante effectivement entre croissance économique et augmentation des émissions polluantes, la politique de l'environnement serait durablement condamnée à jouer les entreprises de réparation (Sprenger R. U., 1995).

Une relation de complémentarité

Selon ce second point de vue, les objectifs de protection de l'environnement seraient d'autant plus faciles à atteindre que la croissance serait forte. La croissance conditionnerait l'amélioration de la situation de l'environnement. Cette position soutenue par la commission européenne, soulignant ainsi, dans son Livre blanc, que des taux de croissance de 3% par an permettront de créer les ressources nécessaires pour réduire les niveaux de pollution actuels. En outre, l'augmentation de l'investissement aura également des effets positifs sur l'environnement, en accélérant l'introduction de techniques nouvelles moins polluantes.

contributions, qui ont participé à la construction de la théorie économique de l'environnement, nous montre comment, au début, cette nouvelle discipline avait une position critique vis-à-vis de la théorie dominante et comment, ultérieurement, on a cherché à la ramener à l'intérieur de son cours.

William Kapp in *Social Costs of Business Enterprise* (1963), met en évidence que l'entreprise privée est naturellement portée à internaliser les profits et externaliser les coûts sociaux (parmi lesquels les dommages à l'environnement), en prélevant des ressources du capital de la nature sans les reconstituer. L'analyse de Kapp fait référence à la théorie des coûts externes, élaborée par Marshall dans un tout autre contexte, mais adaptée aux questions environnementales par Pigou et à l'origine de la fameuse proposition selon laquelle "le produit net marginal privé peut être, selon les cas, égal, supérieur ou inférieur au produit net marginal social" (Pigou, 1920, p123).

Bien que reconnaissant le bien fondé de l'analyse de Pigou, Kapp remarque que la théorie néoclassique n'a pas dédié à la question des coûts sociaux l'attention qu'elle aurait méritée. Son travail s'inscrit dans un projet plus vaste avec un double objectif : mesurer les résultats de l'entreprise privée non seulement dans l'optique de marché et jeter les bases d'une nouvelle formulation de l'analyse économique, qui tient compte de tous les aspects de la réalité, même ceux que plusieurs économistes ont mis de côté, parce que non économiques.

Toutefois, même si des pionniers, tel que Kapp, Pigou, Boulding et plus récemment René Passet, avaient déjà énoncé des principes fondamentaux, c'est la médiation croissante, dans les années 1970, du questionnement sur le développement soutenable qui a suscité le véritable démarrage des travaux d'économie sur les relations entre activités économiques et environnement, travaux qui ont connu une croissance exponentielle au cours des années 1980 et surtout 1990.

III. La relation activité économique environnement : Les courants de pensée contemporains

Aujourd'hui à la confluence des questions des ressources naturelles, d'environnement et de développement, s'est formée une "zone de métissage" des idées et d'hybridation des concepts, voire de simples notions et pratiques pas toujours clairement désignées, qui témoigne d'un renouvellement en cours des problématiques et des thématiques.

Derrière ce type d'argumentations, il y a l'idée qu'il serait plus facile d'enregistrer des progrès en matière de protection de l'environnement en période de croissance, parce que celle-ci s'accompagne de changements structurels plutôt favorables à l'environnement et garantit la rentrée des ressources fiscales nécessaires au financement d'une politique de l'environnement efficace.

La théorie permet de tenir ces hypothèses pour valides. Mais les données empiriques tempèrent sensiblement l'optimisme inhérent à cette thèse : ainsi est-il par exemple erroné de croire que la part croissante prise par les services dans la structure de l'économie a des effets automatiquement positifs sur l'environnement ? Par exemple, le secteur agricole, dans sa régression relative, illustre le fait que la diminution du nombre d'actifs et la stagnation de l'espérance de revenu (résultat, en l'espèce, de l'intensification des modes de production) soient parfaitement compatibles avec un accroissement des nuisances environnementales (Pollution des eaux de surface, baisse du niveau de la nappe phréatique...). De même, au sein du groupe globalement déclinant des industries de transformation, certaines branches particulièrement polluantes prennent de plus en plus d'importance relative.

Les expériences passées ne permettent pas donc, de valider cette représentation optimiste selon laquelle un plus fort taux de croissance ménagerait une plus grande marge de manœuvre financière pour la protection de l'environnement. Ainsi même une politique économique postulant une relation positive entre croissance et réduction des nuisances conduit, tendanciellement, à la crise écologique.

Une relation de conflit

La troisième forme de relation est marquée par des rapports d'opposition, appuyés sur des fondements méta-éthiques ou sur des visées éthiques contradictoires. Soit que la protection de l'environnement est considérée comme prioritaire par rapport au développement économique - position généralement appuyée sur la vision du monde véhiculée, entre autres, par la « Deep ecology » -, soit que le fonctionnement de l'économie est jugé prioritaire à la protection de l'environnement – proposition généralement appuyée sur des visions du monde marquées par la place importante qu'y trouve l'activité économique : le libéralisme économique, le productivisme scientifico-technologique, voire la vision marxiste (Chartrand A. cité par Prades J. A. et al, 1992).

Le développement économique ne saurait donc être réconcilié avec l'environnement et, symétriquement, la protection de l'environnement constituerait un obstacle au développement. D'une part, certains pensent que le développement économique ne peut que s'accompagner d'une détérioration de l'environnement, en raison de l'accroissement, d'une part, des consommations d'énergie et de matières premières, et, d'autre part, des émissions de substances nocives. D'autres, de leur côté, craignent que les exigences de la protection de l'environnement mettent un frein à la croissance, car « les investissements (qui lui sont consacrés) sont faits, en règle générale, au détriment d'investissements potentiellement plus productifs, ce qui affecte le potentiel de production et, enfin de compte, la croissance, en termes d'augmentation du PIB »

Des mots, des expressions et des métaphores, s'y bousculent, le plus souvent dans le plus grand désordre sémantique : mondialisation, globalisation, systémique, équilibres stables et instables, ressources renouvelables ou non renouvelables, patrimonialisation, crise et catastrophes, finitude, durabilité, interactivité, interdisciplinarité, etc. C'est dans ce vivier qu'il faut puiser pour construire un nouveau système conceptuel qui permettra de franchir le seuil épistémologique de première grandeur qui sépare encore les sciences de la société des sciences de la nature, sans parler des cloisonnements internes à chacune des disciplines considérées.

Pour le présent travail, nous avons choisi de développer trois approches ayant un objectif commun à savoir l'analyse et la résolution des problèmes environnementaux mais d'inspirations épistémologiques différentes. La première, la plus ancienne, est celle des économistes néoclassiques de l'environnement qui distinguent l'analyse des ressources naturelles de celle de l'environnement. Les ressources renouvelables (forêts, eau...) ou non renouvelables (minéraux) ont été traitées comme des actifs naturels ce qui implique des choix d'allocation d'usages pour assurer la disponibilité future de la ressource. En revanche, l'économie de l'environnement a plutôt porté l'attention, non pas sur la ressource elle-même, mais sur l'activité en usant, et sur la façon dont l'action de certains individus affecte le bien-être des autres individus.

La seconde est celle des économistes de "l'Ecole de Londres" pour lesquels, en développant l'économie du patrimoine naturel, l'environnement est considéré comme un bien rare. Cette rareté implique des conflits d'usages : l'environnement peut être utilisé comme un bien de consommation public, comme un pourvoyeur de ressources naturelles ou comme un réceptacle de déchets. Par conséquent, il n'y a pas des frontières entre l'environnement et les ressources naturelles.

La troisième approche que nous développons est celle de l'économie écologique, appelée aussi l'approche positive d'une économie de l'environnement, qui consiste à abandonner le déterminisme général de l'analyse économique traditionnelle, en conservant ses instruments d'analyse lorsque c'est pertinent, et à tenter de les appliquer, avec l'idée que l'accumulation de ces efforts non déterministes permet, dans l'immédiat, d'apporter quelques réponses concrètes, et fournira à terme, les éléments d'une nouvelle approche intégrée. Cette approche emprunte beaucoup à la théorie économique et à sa praxéologie, mais en la soumettant à une ouverture pluridisciplinaire, où les "techniques" économiques sont un des instruments de traitement et d'homogénéisation de l'information.

Pour apporter un jugement dans ce domaine, il nous semble que le rapport conflictuel entre économie et environnement repose sur une certaine confusion quant à la nature de l'activité économique et de notre rapport à l'environnement. En effet, il ne faut pas confondre « activité économique » et « formes d'activités ». Si les formes actuelles ou les modèles actuels de l'activité économique paraissent dangereux et immorales d'un point de vue environnemental, il ne s'ensuit pas pour autant, que toute activité économique soit incompatible avec ce point de vue.

Une fois la confusion relevée, le conflit à première vue impossible à résoudre prend l'allure d'un faux problème. Même si certaines difficultés demeurent, elles ne sont pas insurmontables.

Une relation d'intégration

Selon une dernière thèse dans ce débat qui nous semble la plus logique, la politique de croissance ne se focaliserait plus aujourd'hui sur le seul objectif, quantitatif, d'augmentation du PIB, mais prendrait en compte la dimension qualitative en intégrant notamment l'exigence de respect de l'environnement.

L'élévation des objectifs de protection de l'environnement à la dignité d'objectifs économiques à part entière est à rapprocher l'interprétation très fréquente selon laquelle l'exigence d'une croissance économique « qualitative » ou « durable » suppose la prise en compte des aspects écologiques (Sprenger R. U, 1995).

Ainsi, le conseil d'experts dans son rapport 1990/1991, a pu souligner, de manière très représentative, qu'« une croissance économique équilibrée ne se mesure pas seulement à l'augmentation quantitative du revenu, de la production et du potentiel économique. Y ressortit aussi l'amélioration qualitative des fondements naturels de la vie et de la production. On ne peut en aucun cas caractériser par l'épithète "équilibrée" la croissance d'une économie où ces fondements sont ruinés par l'extension de la production et de la consommation ».

Une politique économique doit tenir comme objectif, la recherche d'une croissance « mesurée » et « respectueuse de l'environnement ». Dans cette optique, où la croissance économique doit, logiquement, cesser d'être un objectif à poursuivre à tout prix, il conviendrait en principe de comparer les utilités résultant de l'accroissement du PIB aux désutilités découlant de l'insuffisante prise en compte d'objectifs plus qualitatifs. Le problème est que, dans une approche de ce type, chacun peut, en fonction de ses propres fins, choisir les éléments qualitatifs qui lui permettront de justifier l'association, à un niveau de croissance donné, des qualificatifs de « mesuré » et « respectueux de l'environnement ».

Notre choix méthodologique et notre formation initiale d'ingénieur, nous rapproche fortement de la troisième approche, mais nous devons reconnaître que notre recherche emprunte plus ou moins aux trois approches, ce qui nous conduit à les exposer successivement.

III.1 L'approche des économistes de l'environnement

III.1.1 L'adoption du mécanisme « régulation par le marché »

Les tenants de cette approche se rattachent au paradigme dominant dans la science économique : celui qui va de la rationalité à la recherche de l'intérêt individuel, du mythe du progrès technique à la domestication de la nature, de la domination du social par l'économie à la sacralisation de la croissance économique infinie (Harribey J. M., 1997).

Leur analyse économique est construite selon la logique de l'univers mécanique. L'homme est supérieur à la nature. La biosphère sert à alimenter la sphère économique. Il ne s'agit donc pas de l'accession de la société à la dimension économique, mais plutôt de la réduction de la totalité de la société, et même de la nature, à l'économique (Lerin F., 1997).

Les partisans de la présente approche considèrent le marché comme le principal mécanisme de régulation susceptible, cependant de défaillances qu'il convient de pallier. Ces défaillances concernent en particulier les ressources d'environnement parce qu'elles sont techniquement très difficilement appropriables. C'est en établissant le bon fonctionnement de l'économie marchande et de ses institutions que l'on entend assurer une meilleure gestion des ressources naturelles et de la qualité du milieu.

Leur idée centrale consiste à considérer que les problèmes d'environnement, assimilés à des gaspillages des ressources environnementales, proviennent d'une insuffisante définition des responsabilités des acteurs économiques pour les conséquences de leurs activités économiques. Les nuisances et les dégradations de l'environnement sont donc analysées comme des utilisations incontrôlées de biens autrefois «libres», dont la gestion est difficile pour des raisons techniques : absence de possibilité d'exclusion (les externalités) ou encore, phénomène de consommation collective (biens publics) (Boisson J. M., 1984).

Ils se donnent donc pour tâche de découvrir des règles de gestion adéquates afin de pouvoir remédier à tous les problèmes de mauvaise allocation de ressources.

III.1.2 Les politiques d'intervention et leurs instruments : du curatif au préventif

Les tenants de cette approche distinguent l'analyse des ressources naturelles de celle de l'environnement. Les ressources renouvelables ou non renouvelables ont été traitées comme des actifs naturels ce qui implique des choix d'allocation d'usage pour assurer la disponibilité future de la ressource. En revanche, l'économie de l'environnement a plutôt porté l'attention, non pas sur la ressource elle-même, mais sur l'activité en usant, et sur la façon dont l'action de certains individus affecte le bien-être d'autres individus.

III.1.2.1 L'économie de l'environnement : internalisation des externalités

Adoptant le marché comme système social de référence, les économistes néoclassiques formalisent la question environnementale via la notion d'externalités. Il y a effet externe lorsque l'activité d'un agent économique affecte la fonction d'utilité ou de production d'autres agents, sans qu'il y ait possibilité de choix, du fait de défaillance du marché ou de mécanismes d'appropriation (J. M. Boisson, 1970). Il peut aussi être interprété comme la différence entre le coût social et le coût privé. La présence de cette externalité empêche le marché de conduire à un optimum de Pareto c'est-à-dire à une situation dans laquelle le bien-être d'un agent ne peut augmenter sans que celui d'un autre diminue.

Suite aux travaux de Viner (1931), on distingue d'une part, les effets externes pécuniaires qui sont imposés de l'extérieur au centre de décision et qui sont créés par le mécanisme des prix et d'autre part les effets externes technologiques totalement indépendants du mécanisme des prix vu qu'ils constituent une caractéristique technique des données de base : fonctions de production ou fonctions de satisfaction (J.M. Boisson, 1970). Parmi les effets externes technologiques seuls ceux qui sont "pareto-relevant" doivent faire l'objet d'une internalisation pour correspondre à l'allocation optimum des ressources. Cette «internalisation» vise à modifier le comportement de production de l'entreprise pour lui faire prendre en compte l'effet externe dans son calcul économique. Le coût individuel de l'entreprise redevient alors égal au coût social de ses activités, optimum individuel et social se trouvent, du même coup, réconciliés.

Il y a plusieurs moyens d'obtenir cette internalisation, mais tous supposent l'identification de l'émetteur et du récepteur de l'externalité et, surtout, la connaissance des courbes de production, de pollution, voire de dépollution.

La première solution, la plus banale, est la réglementation directe par des moyens de contrôle juridique (planification physique, normes...). Elle est de loin la plus utilisée, mais aussi la plus critiquée par les économistes. Nous verrons à l'issue de notre

modèle qu'elle peut cependant constituer un point de départ intéressant dans le domaine agricole, pourvu qu'elle soit gérée de manière contractuelle.

La solution traditionnelle des économistes, inaugurée par *Arthur Cecil Pigou* dès 1920, qui consiste à faire payer, avec l'aide d'une intervention de l'Etat, par l'agent économique dont l'activité engendre une externalité, une taxe égale au montant du dommage. Cette taxe conduit l'entreprise à réduire spontanément la quantité produite, donc la pollution. Elle peut être aussi combinée avec la mise en place des dispositifs antipollution (Faucheux S., Noël J.F., 1995). L'internalisation de l'effet externe s'effectue donc, sous contrôle de l'Etat, selon le principe pollueur-payeur. C'est là une des principales solutions envisagées et parfois appliquées pour les pollutions d'origine agricole, avec des succès très mitigés.

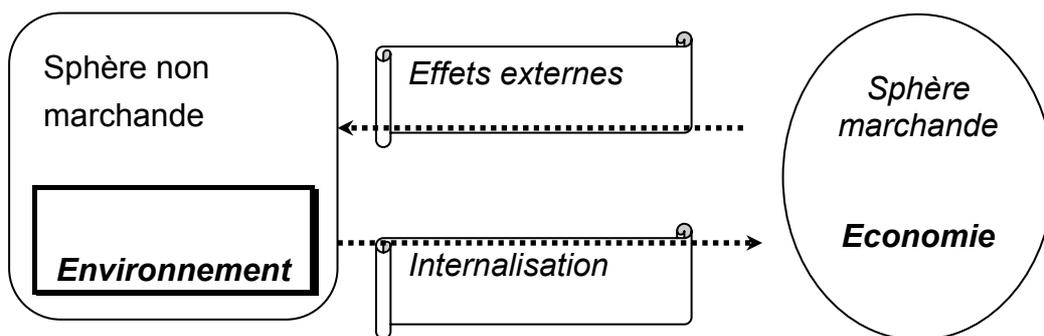
Reconsidérant les analyses de Pigou, *les économistes les plus libéraux sous l'égide de Ronald Coase* contestent l'optimalité sociale de la procédure d'internalisation des externalités qui fait appel à un système de taxation et d'intervention de l'Etat et proposent une autre solution qu'ils jugent plus efficace puisqu'elle laisse une grande place encore au libre jeu de la concurrence marchande. Cette solution se base sur *une distribution initiale des droits de propriété* sur l'environnement, c'est-à-dire en fait la règle juridique de responsabilité, qui détermine le sens dans lequel se fait l'indemnisation. Cette procédure montre, en absence de coût de transaction, qu'il y a intérêt économique à ce qu'une négociation s'instaure directement entre pollueurs et victimes jusqu'à ce que survienne une entente spontanée sur le niveau de pollution acceptable. La logique de la théorie des droits de propriété conduit alors à ce que les externalités, conçues comme des droits d'usage sur les ressources, fassent l'objet d'un échange marchand. Dans cette perspective arrive la troisième solution préconisée par John Dales dans un ouvrage de 1968. Cette solution n'est évidemment valable que si les coûts de transaction ne sont pas trop élevés, comme le souligne R. Coase : dans le cas de pollution diffuse, avec un très grand nombre d'émetteurs et de récepteurs, comme c'est souvent (mais pas toujours) le cas en agriculture, c'est une solution un peu théorique.

La quatrième solution d'internalisation, plus institutionnelle, consiste à *créer des marchés de droits de propriété sur les milieux naturels*. Dans un tel système, des certificats de pollution, ou droits à polluer, sont créés, ils permettent à chacun un certain montant de rejets polluants. Ainsi nulle pollution ne peut avoir lieu sans titre. Depuis les années soixante-dix, ces idées ont été reprises dans le cadre de certains programmes de lutte contre la pollution, mais l'organisation réelle de ces marchés de droits à polluer est loin de correspondre aux souhaits doctrinaux de ses initiateurs.

Cette approche peut être rapprochée d'une approche en termes de quotas, assez familière des politiques agricoles.

La dernière solution, plus récente, appelée *engagements volontaires*, consiste à l'élaboration, à titre d'expert et après expérimentation agronomique, *des cahiers des charges* qui définissent les conditions de la mise en place d'une agriculture durable. Ces cahiers, qui nécessitent une mobilisation pluridisciplinaire, portent sur le maintien de pratiques extensives, la mise en place de pratiques agricoles moins intensives (dont l'agriculture biologique), la formation, la sensibilisation et l'utilisation des terres par le public. L'originalité de cet instrument repose sur son double caractère, à savoir *la prévention et la volonté*. En effet, parmi les critiques dont on reproche souvent aussi bien à l'approche Pigouviennne que Coasienne, c'est ce qu'il y a fort à parier qu'elles soient considérées comme instruments curatifs intervenant trop tard. La pollution commençant à affecter la fonction objectif des agents alors même que certains seuils logiques irréversibles sont déjà franchis ; le niveau optimal de pollution qu'il s'est appliqué à définir excédant au final les réelles capacités d'assimilation du milieu naturel (Pearce D., 1976 cité par Vivien F.D., 1994). C'est cependant une approche qui peut se combiner à la précédente ou à la première, mais dans une perspective contractuelle, et qui s'est développée récemment en Europe avec les mesures agri-environnementales ainsi que dans des contextes nationaux (le CTE en France).

Cependant, malgré leurs multiplicités, ces solutions ne constituent qu'un mécanisme d'internalisation partielle, puisque le niveau optimal de pollution doit être fixé par ailleurs. Comment ? Le marché ne permet pas de le faire directement. L'approche monétaire développée par "l'Ecole de Londres" permet, en se basant sur les méthodes de révélations directes et implicites, de déterminer le niveau de pollution "optimal" suivant des critères marchands, mais reste tout de même défailante pour des problèmes plus complexes en particulier ceux qui touchent la sphère biophysique.



III.1.2.2 L'économie des ressources naturelles : gestion et allocation

L'économie des ressources naturelles est l'autre élément de réponse de la théorie néoclassique à la « question naturelle ». Elle repose sur le fait que les ressources doivent être traitées comme des actifs naturels, ce qui implique des choix d'allocation d'usage pour assurer sa disponibilité future. La séparation par rapport à l'économie de l'environnement fait qu'en général les services d'environnement n'ont pas été considérés comme liés à des actifs naturels. Aussi a-t-on porté attention non pas à la ressource elle-même, mais à l'activité ou aux agents concernés (Vivien F.D., 1994).

La gestion des ressources naturelles s'appuie sur les principes mis en évidence dès 1931 par Hotelling pour les ressources non renouvelables. Elle vise à redonner un rôle central aux prix et au marché comme mécanismes régulateurs fiables et socialement optimaux de l'épuisement des ressources. Par cet objectif, Hotelling s'attaque ainsi, d'une part, à la philosophie du « mouvement conservationniste » américaine qui prône un ralentissement, voire un arrêt, de l'extraction des ressources naturelles au moyen d'une augmentation de leur prix et d'autre part, aux situations de monopoles (censées freiner le rythme d'extraction, selon les conservationnistes) et de montrer la supériorité en matière de gestion des ressources naturelles de la concurrence réputée « pure et parfaite ». Pour répondre à ce double objectif, Hotelling va bâtir une théorie de l'entreprise minière exploitant une ressource non renouvelable (Vivien F. D., 1994).

Dans les années soixante-dix, l'aggravation de la situation des problèmes de ressources renouvelables va amener une théorisation de ceux-ci à partir de modèles d'optimisation dynamiques issus de Hotelling. L'application de cette théorie dans le domaine agricole, et en particulier sur la ressource sol, à été développée par D. Deybe en 1994 dans le but de déterminer l'intensité optimale d'utilisation de cette ressource du point de vue économique et de mesurer l'influence de l'érosion sur sa productivité. Les résultats obtenus sont très satisfaisants et très encourageants (voir Deybe D., 1994, p33-56).

III.1.3 Le maintien du stock global de capital : une condition suffisante de la soutenabilité

Les économistes de l'environnement nous enseignent notamment que le développement soutenable ne peut être assuré que par le maintien du niveau global du stock de capital, qu'il soit humain, manufacturé ou naturel, qui à son tour ne peut être assuré que par le progrès technique et le degré de maîtrise de la croissance démographique.

En postulant le maintien d'un stock global de capital, les néoclassiques prennent en compte une agrégation des différentes formes de capital ; ce faisant, ils adoptent l'hypothèse que l'on puisse diminuer une composante du stock pourvu qu'on en augmente une autre de manière compensatoire, ce qui implique évidemment une possibilité de substitution entre les différentes formes de capitaux.

Les générations futures disposeront certes de moins de « capital naturel » (des ressources naturelles ayant été consommées lors des périodes précédentes) mais, en contrepartie, elles recevront en héritage un volume de capital « créé par l'homme » (qui recouvre le capital technique, le capital humain et l'ensemble des connaissances) beaucoup plus important, ce qui leur permettra de maintenir leur niveau de vie. Comme le signale R. Solow (cité par Latouche S., 1994) « il est très facile de substituer d'autres facteurs aux ressources naturelles. Aussi n'y a-t-il en principe aucun problème. Le monde peut, en effet, continuer sans ressources naturelles ; ainsi l'épuisement de celles-ci est tout juste une péripétie, non une catastrophe ». Donc, l'ampleur de la diminution admissible du stock de ressources naturelles dépend de leur degré de substituabilité par d'autres types de biens.

Ils considèrent l'environnement comme une forme de naturel, analogue à certains égards aux actifs physiques et aux actifs financiers. Dégrader l'environnement équivaut donc à diminuer le capital, ce qui réduit à plus long terme la valeur de ses services récurrents (flux de revenus). Leur approche repose donc sur « l'hypothèse d'une forte substituabilité entre ressources naturelles et capitaux artificiels ».

C'est sur ce point que se situe la grande divergence entre la soutenabilité dite "faible" qui repose précisément sur l'hypothèse de parfaite substitution entre les différentes formes de capital et qui est caractéristique de l'approche néoclassique et la soutenabilité "forte" (qu'il faut entendre comme "à contrainte forte") caractéristique des autres approches.

Cette foi dans le progrès et la technologie a servi de fondement à cette approche. Le pouvoir d'autorégénération de la nature a été occultée, méprisé, détruit au bénéfice de celui du capital et de la technique.

Ce courant considère en effet que la cause de la non soutenabilité réside dans le libre accès aux biens et services fournis par la biosphère, du fait de l'absence ou de la faiblesse de leur prix de marché et de l'insuffisante définition des responsabilités des acteurs économiques pour les conséquences de leurs activités économiques. Un moyen d'atteindre la soutenabilité, selon cette école, consiste dans ces conditions à recourir aux moyens traditionnels de l'internalisation des effets externes. (s. Latouche, 1994)

III.1.4 Les limites de la théorie des économistes de l'environnement

Depuis l'émergence des problèmes environnementaux, au début des années soixante-dix, les économistes néoclassiques se sont déclarés prêts à faire face. S'appuyant sur des soubassements théoriques posés dans les années trente, ces économistes ont contribué aux avancées de leur discipline en essayant de résoudre des problématiques spécifiques à l'usage des ressources naturelles, telles que la prise en compte de phénomènes d'irréversibilité ou d'incertitude et à la gestion des pollutions, telle que l'internalisation des effets externes.

Cependant, la volonté et la ténacité des économistes néoclassiques à résoudre tous les problèmes dans ce domaine, comme d'ailleurs dans d'autres, sont suivies par la multiplicité des critiques. Selon Weigel J.Y. (1997) « on assiste, depuis quelques années, à une recomposition du paysage théorique environnementaliste qui marque un certain détachement à l'égard de l'orthodoxie néoclassique et de ses échecs en matière de gestion des ressources naturelles ».

III.1.4.1 Une réduction de l'environnement à une dimension marchande

La crainte d'une réduction pure et simple de l'environnement à sa dimension marchande est d'autant plus justifiée que le mouvement politique et culturel d'intégration de l'environnement et de l'économie est loin d'être achevé, et qu'il se heurte, en fait, à quatre grandes limites :

Tout d'abord, la constitution d'un marché pour l'environnement et les ressources naturelles nous semble soulever plusieurs difficultés concernant essentiellement l'identification des dommages et des acteurs. En effet, outre les problèmes d'évaluation, il est très difficile de reconnaître d'une part, les dommages créés à l'environnement étant donné qu'on n'en savait ni leur origine ni leurs effets et d'autre part, les responsables et les victimes puisque chacun se trouve être tour à tour en position des uns ou des autres. Le caractère de biens collectifs pour les éléments naturels et leur indivisibilité limite la possibilité de leur appropriation, indispensable à la constitution d'un véritable marché (Harribey J.M., 1997).

En outre, l'attribution de "valeurs" à l'environnement, qui conditionne, par exemple, l'évaluation des dommages, est très dépendante des contextes culturels et des systèmes juridiques (ou de définition des responsabilités), qui permettent ou pas l'expression de ces valeurs : or, l'articulation entre économie, droit, sociologie et science politique est généralement en évolution.

Par ailleurs, l'existence de la vérité des prix dans le domaine des ressources et de l'environnement est, dans la plupart des cas, un problème de redistribution sociale (entre groupes sociaux, pays ou entreprises...). Or l'économie de l'environnement, au moins dans son état actuel, est très mal armée pour évaluer ces effets redistributifs.

Enfin, comme le montre Claude Henry, l'utilisation des instruments économiques n'est pas synonyme de régulation par le marché : il n'y a pas de "main invisible" sans le "bras" qui la prolonge, c'est à dire sans une certaine forme de régulation publique. Donc, comment penser un marché concurrentiel qui suppose un Etat ? Le libre-jeu du marché, pour corriger ses "défaillances", devrait supposer développer des marchés de la dépollution et non pas développer de plus en plus l'intervention de l'Etat.

III.1.4.2 L'optimum de Pareto : une norme de référence et non de réalisation

L'internalisation des externalités et le rétablissement de droit de propriété sur les biens naturels de façon à transformer ceux-ci en biens marchands constituent les deux objectifs primordiaux des économistes néoclassiques. La justification de cette démarche repose sur le concept d'optimum de Pareto qui désigne une situation dans laquelle on ne peut plus améliorer la position d'un individu sans détériorer celle d'un autre.

Or, la réalisation d'un optimum de Pareto est le plus souvent contrecarrée par l'existence de certaines limites théoriques difficilement surmontables : indivisibilité, irréversibilité, non linéarité, rendement croissants, contraintes de toutes sortes, comportements déviant de ceux que supposent les hypothèses théoriques. On doit donc le plus souvent envisager des optimums de second rang, en souhaitant qu'ils ne divergent pas trop d'un optimum de premier rang inaccessible.

Par ailleurs, le "marchand" est, en quelque sorte, l'horizon de la théorie économique néoclassique, dans son diagnostic comme dans ses solutions. Cela l'a conduit à penser d'une part, que l'existence d'effets externes comme une situation anormale, exceptionnelle. Or c'est l'inverse qui est vrai, les interdépendances non marchandes entre les individus d'une société sont très nombreuses ; une partie très importante des activités économiques se déroule en dehors des relations marchandes et des systèmes de prix et d'autre part, que l'internalisation de ces effets externes au moyen soit d'une intervention de l'Etat par l'imposition d'une taxe (approche pigouvienne) soit par une extension de la sphère marchande et du champ de la rationalité économique (approche Coasienne) peut conduire à un optimum de Pareto. Or, comme le signale Kapp W. (1950) et des auteurs marxistes, ni l'un ni l'autre

permettent d'atteindre cet optimum. En effet, la première solution est incapable étant donné qu'elle est toujours ex-poste (correction) donc le niveau optimal de pollution qu'il s'est appliqué à définir excédant au final les réelles capacités d'assimilation du milieu naturel -phénomène d'irréversibilité. Concernant la seconde, elle est aussi incapable, étant donné que ce sont justement la rationalité économique et son corollaire, la recherche de profit maximal, qui poussent les entreprises à externaliser les coûts et à internaliser les recettes, et ensuite la présence des coûts de transaction lors de l'échange et le mode d'allocation initial des droits à polluer qui est capable de modifier l'optimum (Vivien F.D., 1994).

De plus, la grande diversité et parfois même la grande fragilité des résultats obtenus par les méthodes d'évaluation monétaire du non marchand ont contribué à introduire des doutes sur ces approches.

III.1.4.3 Une hypothèse contestable de substituabilité entre les capitaux

Comme nous l'avons déjà signalé, les économistes de l'environnement postulent le maintien d'un stock de capital global en prenant en compte la possibilité d'une agrégation (substitution) entre les différentes formes de capitaux. Ils adoptent alors l'hypothèse que l'on puisse diminuer une composante du stock pourvu qu'on en augmente une autre de manière compensatoire. Toutefois, cette forme de substitution entre les capitaux se heurte à un certain nombre de limites qui sont explicitées en particulier par les tenants de « l'économie écologique ». Selon ces derniers le « capital naturel » et le « capital artificiel » offrent plutôt des propriétés de complémentarité que de substituabilité.

Le premier argument qui peut être invoqué à l'appui de cette idée est que la nature par son caractère multifonctionnel (fournir les matières premières et inputs en énergie à l'économie, possède une capacité d'assimilation des déchets, fournir un certain nombre de services et de fonctionnements écologiques) constitue un élément essentiel du processus de création de richesses. Il s'agit même là, comme le soulignaient Commoner B. (1971) ou les éco-énergéticiens, d'un facteur « primitif » d'où découlent les facteurs (terre, travail, capital) considérés par les économistes.

Le second argument se base sur le fait que la spécificité même du capital naturel ne rend ni toujours possible, ni souhaitable, sa substitution par le capital artificiel. En effet, il apparaît évident que beaucoup de propriétés de la Biosphère ne peuvent être prises en charge et remplacées par des activités humaines.

Ces limites à la substituabilité, si elles sont évidemment dépendantes du progrès technique -et par conséquent de notre ignorance du futur- sont cependant assez

évidentes dans le domaine particulier de la production agricole.

III.2 L'approche de "l'Ecole de Londres"

III.2.1 La valorisation monétaire des actifs naturels

Les auteurs de ce courant fournissent une vision de l'économie et de l'environnement intégrée de façon circulaire et soumise à trois contraintes environnementales : la capacité d'assimilation de l'environnement ne doit jamais être dépassée, les capacités de renouvellement ne doivent pas être entravées et l'effort de substituabilité entre les ressources épuisables et d'autres dites renouvelables doit être augmenté. Ces contraintes ne sont plus relatives mais absolues en raison de la prise en compte simultanée des deux lois de la thermodynamique.

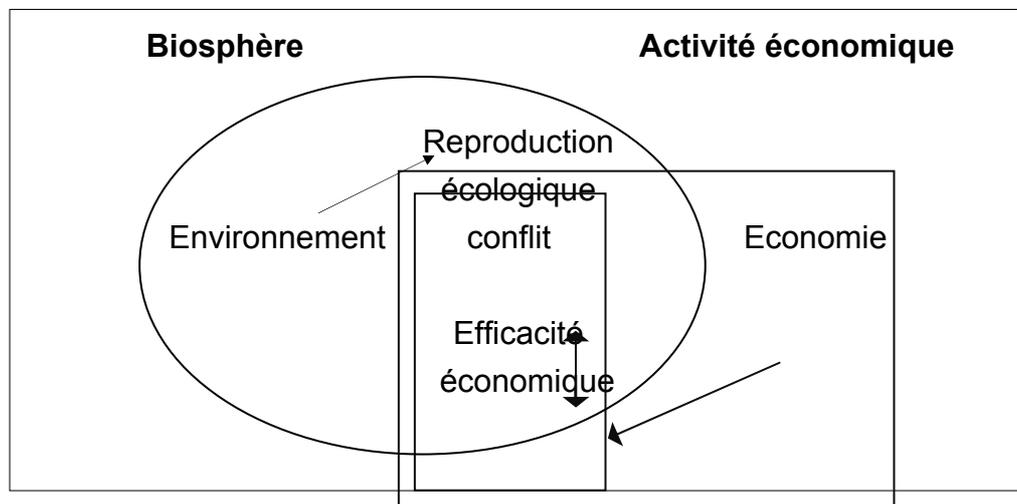
Contrairement au économistes néoclassiques qui distinguent l'analyse des ressources naturelles de celle de l'environnement, les économistes de "l'Ecole de Londres", en développant l'économie du patrimoine naturel, montrent qu'il n'y a pas de frontières entre l'environnement et les ressources naturelles. Ils considèrent globalement l'environnement comme un bien rare au même titre que les ressources naturelles. Cette rareté implique des conflits d'usages : l'environnement peut être utilisé comme un bien de consommation public, comme un pourvoyeur de ressources naturelles ou comme un réceptacle de déchets.

Toutefois, devant la difficulté de trouver des unités de mesure homogènes afin d'évaluer chacune des trois contraintes environnementales qu'ils ont proposé, les auteurs de "l'Ecole de Londres" suggèrent une évaluation de ces dernières par le biais des méthodes de révélation des préférences, reposant sur le consentement à payer des individus, et reprenant les éléments fondamentaux de l'analyse coût-avantage, c'est-à-dire les instruments de l'analyse néoclassique appliqués au non-marchand.

Leur approche qui repose sur l'interface économie-environnement en mettant l'accent sur l'interdépendance entre économie et environnement et leur volonté d'appréhender le caractère multidimensionnel du développement soutenable en soulignant les spécificités du capital naturel, les conduisait à dépasser une vision économiste du monde et les démarquait apparemment des approches néoclassiques (Lauriola V., 1997).

Le marché demeure donc le mécanisme central de régulation des relations homme-nature. La principale différence avec l'approche précédente réside dans son

caractère moins utilitariste et dans une approche plus explicite de la gestion de l'environnement. Partout où cela est possible, la protection de l'environnement doit primer. Cependant, l'homme décide de la valeur à accorder aux choses : l'approche demeure anthropocentrique.



III.2.2 Le maintien d'un stock de capital naturel critique : une condition nécessaire de la soutenabilité

Les économistes de "l'Ecole de Londres" sous l'égide de D. Pearce définissent une condition nécessaire au développement soutenable : *la maintenance d'un stock de capital naturel critique*. Toutefois, ils précisent en même temps "qu'il s'agit d'une condition non suffisante puisqu'un ensemble de conditions suffisantes doit inclure par exemple des considérations institutionnelles finalisées correspondant à une politique de développement soutenable et demande des mutations systématiques des valeurs sociales" (Pearce et al., 1994, p. 4).

Partant de l'idée qu'il existe une relation positive entre l'échelle du dommage potentiel au capital naturel et au degré d'irréversibilité, les londoniens proposent la possibilité d'une distinction au sein de la catégorie du capital naturel. La dégradation potentielle d'une partie du capital naturel est réversible et à une petite échelle peut être traitée par des critères d'efficience économique tels qu'ils sont définis par la perspective néoclassique. En revanche, le capital naturel dont la dégradation risque d'être irréversible et à grande échelle devrait voir son usage soumis à des contraintes *a priori*. On parle ainsi du capital naturel critique.

Dans cette optique, la plupart des auteurs appartenant à ce courant de pensée proposent, non pas le maintien constant du stock total de capital naturel, cas de l'approche de l'économie écologique, présentée dans la section ultérieure, mais

l'utilisation de ce dernier en deçà de seuils limites. L'hypothèse de substituabilité entre capital manufacturé et capital naturel est jugée pertinente quand les fonctions économiques et productives du capital naturel sont concernées. Lorsque les fonctions de "survivabilité" du capital naturel sont en jeu, cette hypothèse doit être abandonnée au profit de celle d'une complémentarité stricte.

Cette approche se situe, donc, à mi-chemin entre celle des économistes de l'environnement (soutenabilité faible) et celle de l'économie écologique (soutenabilité forte). Le maintien alors d'un stock global de capital n'est pas une condition nécessaire et suffisante pour assurer la soutenabilité du développement et contrairement le maintien d'un stock constant de capital naturel, ne l'est pas non plus car il s'avère trop contraignant (Faucheux S., Noël J.F., 1995).

III.2.3 Les limites de la théorie des économistes de "l'Ecole de Londres"

Malgré les nombreux aspects innovateurs que présente l'approche économique élargie de "l'Ecole de Londres" dans sa reconnaissance des dimensions plurielles de la valeur environnementale, elle n'arrive pas à résoudre de façon complètement convaincante de multiples questions.

III.2.3.1 Une monétarisation contestable de la nature

La valorisation de l'actif naturel qui aboutit à la fixation d'un prix monétarisé et à la réalisation d'un échange volontaire entre deux ou plusieurs parties, constitue l'un des thèmes centraux des économistes de "l'Ecole de Londres". Cependant, la mesure de la valeur de cet actif se heurte à une double limite.

Le principal reproche de nature psychologique faite par les écologues à l'approche en termes économiques est d'avoir réduit à des relations financières très simplistes l'extrême complexité des relations de l'homme avec son environnement naturel. En effet, évaluer des actifs naturels c'est faire entrer dans la sphère marchande des éléments qui ne se sont pas produits par l'homme. "C'est, pour certains, au sens plein du terme, dé-naturer le patrimoine naturel" (Point P., p. 69).

Le second reproche de nature théorique faite par les économistes repose sur les rapports existant entre éthique et économie. L'économie s'insère dans la société humaine qui elle-même s'inscrit dans la biosphère. La rationalité de la production des systèmes vivants fonde une nouvelle éthique dont les valeurs ne sont pas réductibles à l'économie et qui peuvent s'exprimer par deux principes. Premièrement, les écosystèmes ont une existence qui ne peut être mesurée en termes marchands et dont le respect est un principe de vie et non un principe économique. Deuxièmement,

la reproduction des systèmes vivants inclut le respect de la vie des êtres humains, dans ses formes matérielles et culturelles (Passet R., 1994).

III.2.3.2 Des méthodes d'évaluation délicates

Les méthodes empiriques d'évaluation, qu'elles soient directes (évaluation contingente) ou indirectes (les dépenses induites, les prix hédoniques, la complémentarité faible) s'articulent soit autour de mesures de capitalisation des flux et services marchands produits par les actifs naturels, soit pour les biens publics non marchands autour de procédures de révélation directe ou indirecte de leurs valeurs. Leur utilisation apparaît assez systématique dans certains pays, de plus en plus fréquentes dans d'autres et largement ignorées par un ensemble de nations au sein desquelles figurent les pays en voie de développement. Quels sont donc les obstacles à l'utilisation de ces méthodes ? Sans prétendre à l'exhaustivité, on peut identifier une série de facteurs qui interagissent négativement.

Le premier obstacle d'ordre méthodologique et conceptuel se manifeste par la présence de facteurs d'incertitude portant sur le rôle du progrès technique, l'évolution des préférences et des intérêts des générations futures, la démographie et les modes d'utilisation de l'espace, l'évolution des formes d'organisation sociale et des institutions économiques et politiques qui nécessitent des efforts considérables dans ce domaine. En effet, faute d'une analyse intégrée de ces différents aspects, les mesures d'évaluation des actifs naturels ne peuvent prétendre fournir qu'une mesure partielle de la valeur des actifs naturels du point de vue d'une allocation actuelle des ressources (Weigel J.Y., 1997).

Le deuxième obstacle de type juridique vient du fait qu'il n'y ait pas encore de demande institutionnelle pour ce type d'étude, sinon peut être, aux Etats-Unis. Les juges n'ont pas encore reconnu le bien-fondé des méthodes développées par cette Ecole. L'administration ne suscite pas non plus ce type d'investigation. En effet, l'absence de demande institutionnelle pour des évaluations économiques du patrimoine naturel inhibe toute possibilité de constitution d'un potentiel stable de compétences dans ce domaine.

Le dernier obstacle d'ordre pratique qui ne doit pas être sous-estimé est représenté par le coût élevé de mise en œuvre de ces méthodes. Si le marché fournit gratuitement, ou à faible coût, des informations sur les prix et les quantités, les techniques d'évaluation se révèlent assez onéreuses pour la production de ces mêmes informations. De plus, les décideurs privés ou publics ne disposent pas toujours du temps nécessaire au recueil et au traitement des données requises.

Ajouté à cela les problèmes de transfert de valeur, de normalisation des protocoles (échantillonnage), de normalisation d'un certain nombre de résultats à produire et de divergences apparentes de certains résultats (Point P., 1993).

III.2.3.3 Un modèle de soutenabilité discutable

Le modèle de croissance optimale, développé par "l'Ecole de Londres", se situe en intermédiaire entre deux positions claires : celle des néoclassiques, faisant l'hypothèse d'une substituabilité sinon parfaite (et parfois coûteuse) mais toujours possible, d'un côté, et celle des conservationnistes pour lesquels rien ne saurait durablement se substituer au capital naturel. De ce fait, la mise en pratique de ce modèle est contrecarrée par l'existence de certaines limites de définition et de mesures difficilement surmontables.

Tout d'abord, évaluer avec une précision raisonnable et monétarisée la capacité d'assimilation d'un milieu compte tenu des incertitudes fondamentales qui caractérisent les phénomènes écologiques nous semble impossible. En effet, les limites de la capacité d'assimilation du milieu se révèlent lorsque les dégâts se sont déjà produits et qu'il n'y a aucun moyen de prévoir si ces dégâts seront ou ne seront pas réversibles et dans quelle mesure ils le seront. Pearce et ses collègues sont bien conscients des problèmes posés par l'irréversibilité en écologie. Toutefois, ils font confiance aux écologues et scientifiques pour définir la capacité de charge ou d'assimilation du milieu. Or la notion même de « capacité de charge » est controversée et il n'y a pas de consensus chez les écologues quant à sa pertinence ; en particulier, cette notion ne pourrait s'appliquer qu'aux systèmes fermés, qui sont loin de représenter la règle dans le monde réel.

Enfin, le modèle introduit la soutenabilité écologique sous forme de contraintes supplémentaires à appliquer aux critères habituels d'optimisation de l'utilité collective future. Cependant, malgré leur reconnaissance de la dépendance de l'économie vis-à-vis de l'environnement et de la multifonctionnalité de ce dernier, ces économistes, devant le problème de l'évaluation des conditions de la soutenabilité, choisissent d'homogénéiser les conditions d'optimisation par la monétarisation. Ainsi, d'un côté "l'Ecole de Londres" prétend reconnaître la dépendance de l'économie de l'environnement, mais de l'autre elle reste prisonnière d'une vision purement économique de celui-ci et de la formalisation monétaire, rejoignant ainsi l'approche néoclassique.

III.3 L'approche de l'Economie écologique "Ecological economics"

III.3.1 Historique du couplage économie / écologie

Les premiers essais de modélisation des interactions économie écologie remontent aux années 70 et les efforts menés quant au fond, par des hommes comme Georgescu-Roegen (1971), quant à la propagation des idées, des hommes comme H. Daly ou M. Costanza, fondateurs de ce mouvement, devront être mentionnés.

Historiquement, les recherches ont été basées essentiellement soit sur l'approche économique soit sur l'approche écologique pour analyser les problèmes d'interaction environnement - activités humaines. Généralement les modèles écologiques ont tendance à ignorer les êtres humains et les modèles économiques ont pris les simples versions des faits écologiques. Les interactions entre économie et écologie ont été donc très timides étant donné les grandes difficultés méthodologiques qu'elles ont dû affronter : décalage des échelles pertinentes pour l'écologie et l'économie, manque de données, absence de relations déterministes stables permettant d'appréhender une dynamique de façon intégrée. La présence de ces difficultés a fait que la perspective d'un modèle intégrant l'ensemble des variables (économiques et écologiques) dans une même représentation s'est alors évanouie, conduisant les efforts de modélisation dans d'autres directions (Godard, 1998).

Cependant, avec la création de la Société internationale pour une économie écologique à la fin des années 80, autour de l'idée de dépasser les limites émanant tant de l'économie standard que de l'écologie standard, l'idée d'une nécessité d'un rapprochement entre l'économie et l'écologie émerge de nouveau (Costanza, cité par Godard, 1998). Cette création repose sur le développement en France d'un courant de « bio-économique » (Passet R., 1979), et dans les pays anglo-saxons un courant s'intitulant "économie écologique" (Costanza, 1989, 1991) cherchant notamment dans les analyses thermodynamique et éco-énergétique des approches capables de représenter une alternative ou, du moins un complément, aux méthodes d'évaluation et d'optimisation économiques traditionnelles en intégrant en particulier la dualité des unités physiques et des unités monétaires. Cette approche multidisciplinaire ne se limite pas à des approches économiques, mais vise à organiser la circulation et l'intégration de l'information entre disciplines différentes pour l'étude d'un problème donné. Il s'agit en quelques sortes d'un cadre de modélisation qui permet de raccorder un ensemble de modèles sectoriels, climatiques, écologiques, économiques, tout en fournissant un moyen systématique d'analyse des incertitudes attaché aux différentes informations et relations (Dowlatabadi et Morgan, 1993).

L'une des raisons de l'émergence de cette approche est l'insatisfaction éprouvée envers la réduction de la question environnementale à la théorie de l'internalisation des effets externes négatifs ou bien encore à l'hypothèse de substituabilité illimitée des ressources naturelles ou des aménités environnementales par des ressources humaines ou du capital accumulé (Costanza, 1991).

III.3.2 Economie et écologie : concordances et conflits

Actuellement, l'objectif primordial de l'approche d'économie écologique consiste à modéliser l'interaction entre l'activité humaine et l'écosystème et à illustrer comment les êtres humains interviennent dans l'écosystème et comment les différentes configurations de ce dernier contribuent au bien être humain. Il est au moins concevable que ce qui apparaît être profondément enraciné des différences éthiques entre les écologistes et les économistes, en regardant les objectifs les plus généraux, peut être réconcilié si nous comprenons bien la nature spécifique des interactions humaines avec l'écosystème et comment ces interactions induisent les réactions ultérieures telles qu'elles s'étalent dans le temps et dans l'espace.

Du point de vue de la structure, les disciplines de l'économie et de l'écologie ont beaucoup de points en commun. Les deux analysent et prédisent l'évolution des systèmes complexes en corrélation dans lesquels le comportement de l'agent individuel comme l'écoulement de l'énergie et de matière sont des éléments centraux.

Cependant, les dynamiques des écosystèmes et des marchés sont extrêmement différentes, et ces différences se marquent principalement dans les pas de temps et les horizons temporels respectifs des systèmes écologiques et économiques. Les données sur les décisions économiques sont rarement valables pour une période inférieure à un mois, et généralement valables pour une année. Par contre, parce que les scientifiques ont étudié la croissance et le développement des organismes, la dynamique hydrologique, etc., les fonctions des écosystèmes peuvent fréquemment être modélisées à un niveau de résolution temporaire à la fois plus fin et beaucoup plus long. Par conséquent, les écologistes construisent des modèles basés sur des systèmes d'équation très différents parce qu'ils peuvent modéliser la nature récursive du système, alors que les modèles économiques sont le plus souvent des systèmes simplement simultanés ou dont la dynamique est très mécanique (Braat and Steetskamp cité par Faucheux S. et Pearce D., 1996).

III.3.3 L'Economie écologique : conception et inspiration épistémologique

L'approche économie écologique est née de l'approche systémique préconisée par

L. Von Bertalanffy et des apports de la thermodynamique. L'approche systémique part de l'idée que le monde complexe ne peut être perçu uniquement à travers une grille de lecture analytique et qu'il faut privilégier les interactions entre les éléments en intégrant la durée et l'irréversibilité.

L'économie écologique s'inscrit dans le mouvement de la destruction créatrice qui anime respectivement l'évolution naturelle et le développement économique et par lequel l'entropie constitue le prix à payer pour une création. Il est donc non fondé d'affirmer que l'action humaine ne peut qu'accélérer la dégradation de la planète, tout comme il serait faux de prétendre, à l'opposé que la biosphère finit toujours, quoique nous fassions, par s'autoréguler.

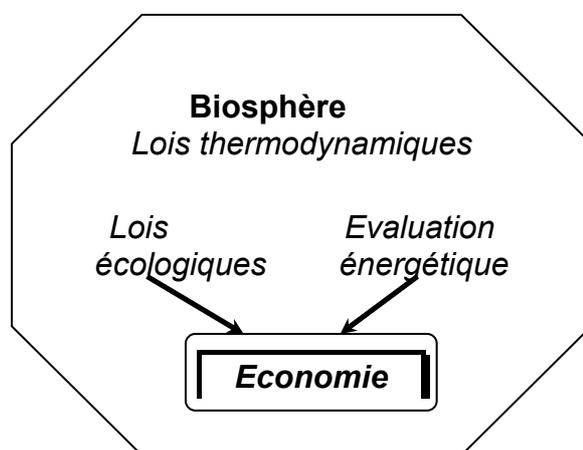
Les tenants de l'économie écologique se placent en réelle rupture avec les courants économiques aussi bien des économistes de l'environnement que ceux de "l'Ecole de Londres". Ils tentent un rapprochement entre sciences du vivant et les sciences sociales, avec la notion de coévolution : le processus économique modifie le milieu naturel et inversement. De ce fait ils interviennent et accueillent des scientifiques d'autres disciplines, spécialement celle de la nature et de la structure : physiciens, biologistes, agronomes.

Les modèles écologico-économiques se démarquent des modèles néoclassiques d'équilibre général parce qu'ils cessent de considérer le système économique comme la référence par rapport auquel on raisonne seulement en termes d'externalités et de gestion optimale. Ils intègrent la dynamique d'évolution, de régulation et les contraintes de reproduction des éléments naturels. Ils mettent en doute le fait que la rationalité des décisions prises au nom de la rentabilité ou au nom d'une conception utilitariste du bien-être puisse contribuer à la préservation des ressources naturelles et des équilibres écologiques et assurer une véritable équité intergénérationnelle.

Leur conception théorique qui consiste à placer l'économie dans la biosphère les conduisait à dépasser aussi une vision économiste du monde et les démarquait apparemment des approches de "l'Ecole de Londres" parce que celle-ci la dépasse tant par ses finalités, par sa durée, que par ses mécanismes d'évolution. Elle se caractérise aussi par une méthode de recherche ouverte sur la complexité des phénomènes et par le refus d'appliquer une méthode de gestion de la nature pour laisser la place à une conception d'insertion dans celle-ci. Les ressources naturelles ne sont plus donc estimées à partir de critères purement monétaires mais elles sont appréhendées d'abord comme des réalités physiques, mesurées comme telles, pour

lesquelles il faut tenir compte de la capacité et du rythme de reproduction s'il s'agit de ressources renouvelables ou bien du risque d'épuisement si elles ne le sont pas. La gestion exclusivement monétaire des ressources naturelles fait place alors à ce que Passet appelle une stratégie de gestion normative sous contraintes, c'est-à-dire à une gestion normative sur des bases pluridisciplinaires. Ces contraintes - quantitatives et qualitatives - reposent sur la définition des variables naturelles, humaines et socioculturelles dont le respect délimite le cadre au sein duquel peut légitimement s'exercer le jeu de l'optimisation économique. Elles expriment la limitation du nombre des choix possibles.

Les tenants de cette approche entretiennent donc une confusion délibérée entre le modèle *positif-cognitif* (approche écologique) et une dimension *normative* (approche économique) (J.M. Boisson, 1984).



III.3.4 Les fondements de l'économie écologique

III.3.4.1 Une approche multidimensionnelle et multidisciplinaire

Comme le signalait F. Perroux "pour prendre en considération l'environnement, on doit élargir l'analyse économique, tenir compte des aspects qualitatifs des niveaux ou des modes de vie et de leurs relations avec le cadre de vie". On s'engage alors dans une analyse multidimensionnelle et pluridisciplinaire.

La multidimensionnalité tient à l'insertion de l'économique dans le social et la nature. Elle revêt deux aspects, d'une part la prise en compte de logiques et de mécanismes extérieurs à la sphère économique qu'il faut préserver sous peine de destruction du système ; d'autre part la conséquence d'une relation d'inclusion pour laquelle la logique des systèmes englobants se retrouve nécessairement à l'intérieur des systèmes englobés.

La volonté des économistes de ce courant est d'appréhender le caractère

multidimensionnel du développement soutenable en mettant l'accent sur l'interdépendance entre économie et écologie, et en soulignant les spécificités du capital naturel, les conduisait à dépasser une vision exclusivement économiste du monde. Comme le disait Lebret "la biologie généralisée et l'écologie humaine aident aux dépaysements nécessaires et à l'offensive contre quelques lenteurs de l'économie standard".

De façon globale, le champ des recherches en environnement est relatif aux interactions entre dynamiques naturelles et dynamiques sociales. Etudier les interactions entre ces dynamiques revient en outre à admettre d'emblée que les recherches doivent être interdisciplinaires, et non uniquement économiques.

En conséquence, cette approche des problèmes d'environnement et de ressources naturelles est non seulement multidimensionnelle, mais également multidisciplinaire. C'est dans cette perspective que certains peuvent utiliser à la fois les évaluations monétaires fondées sur les préférences individuelles ou collectives, et des évaluations physiques relevant des analyses énergétiques et matérielles ; ces dernières permettent d'élaborer des indicateurs signalant plus rapidement l'atteinte de certains seuils critiques environnementaux, qui ne se fait pas par des indicateurs de marchés tels que les prix. Il s'agit alors d'articuler les enseignements des indicateurs économiques avec ceux issus, par exemple, des analyses énergétiques, matérielles ou biophysiques. Une telle articulation peut se faire grâce aux méthodes d'analyse multicritères qui s'avèrent un instrument d'aide à la décision en matière environnementale. Les principaux avantages de ces modèles résident d'une part, dans le fait qu'ils permettent de considérer un grand nombre de données, de relations et d'objectifs conflictuels souvent présents dans le processus de décisions réel et d'autre part, dans le refus de réduire une réalité complexe à un seul type de variable. Leurs limites tiennent au fait que le choix préalable des variables, la sélection des critères d'évaluation et leur pondération prédéterminent en grande partie les résultats.

Encadré 1.3. Les objectifs de l'économie écologique

En s'appuyant sur la classification proposée par M. Faber et al (1996), les objectifs de l'économie écologique peuvent être séparés en deux groupes : le premier est relié à des problèmes et à des objectifs scientifiques, le second à des problèmes politiques et moraux.

Les objectifs et les problèmes scientifiques

- Etablir les perspectives historiques de l'interaction entre les sociétés et la nature : le dioxyde de carbone est un problème qui a été reconnu récemment, mais ses racines sont profondément foncées dans l'histoire. En effet, l'industrialisation qui a fait sa propagation en Angleterre, ensuite au continent européen, puis en Amérique du nord pour arriver aujourd'hui presque à toutes les parties du globe, a entraîné une augmentation considérable de la consommation des combustibles et par conséquent de la concentration de dioxyde de carbone en atmosphère. Les activités humaines avaient profondément influencé l'écosystème global et l'interaction avait commencé notamment avec l'industrialisation. En effet, avec cette industrialisation les êtres humains vivent dans un paysage fabriqué dans lequel habitent des espèces qu'ils ont introduit. L'économie écologique offre une forme d'analyse et de débat sur la dynamique à long terme des interactions humaines et naturelles.
- Trouver un langage commun pour les concepts d'analyse de l'économie et de l'écologie : l'approche économie-écologie, en puisant dans l'histoire, montre que depuis longtemps existe un degré étonnant de chevauchement entre quelques concepts et outils d'analyse de l'économie et de l'écologie. En effet, les économistes sont familiarisés par l'analogie tracée par Mandeville (1714) entre le comportement des insectes domestiques et le comportement social des êtres humains dans son "fable des abeilles". Inversement, la notion de l'activité économique a été prolongée pour analyser le comportement des insectes domestiques. Plusieurs exemples peuvent illustrer ce chevauchement : les modèles de théorie de jeux ont trouvé leurs applications dans les modèles de l'évolution naturelle ainsi que dans ceux de la science sociale (Maynard-Smith, 1984). La carte du flux énergétique utilisée aussi bien pour l'analyse économique que pour l'écosystème a été proposée par Odum (1971) et continue à être source d'analyse et de débat (Odum, 1981). Le flux des biens ou des valeurs dans le système économique est souvent modélisé en utilisant l'analyse « input-output » (Leontief, 1966), et telle analyse de flux a été adaptée pour modéliser le flux d'énergie et de matière dans l'écosystème (Costanza, 1984). Actuellement, il y a eu aussi une grande discussion concernant l'utilisation de prix et du taux d'intérêt dans l'écosystème (Hannon, 1985). D'autre part, les idées à propos de l'évolution et de la coévolution ont commencé à être généralisées de la science biologique à l'économie (Norgaard, 1984).
- Tracer la surface d'intersection entre la science de la nature et la science sociale : dans ces dernières années il y a eu une inquiétude croissante concernant le divorce de l'analyse économique de ses "fondations biophysiques". Les activités économiques de production et de consommation ne sont pas indépendantes de l'écosystème global. Les objets fabriqués par l'être humain nécessitent de la matière pour leur expression. Les lois de la thermodynamique sont reliées à l'activité économique dans son sens large

La multidisciplinarité, indissociable de cette approche, soulève cependant de redoutables problèmes :

- Problème de maîtrise et de mise en relation d'informations provenant d'horizons scientifiques variés ; si la multidisciplinarité exige en effet, la rencontre et la coopération des hommes, elle ne se réduit pas à une simple addition de savoirs spécialisés détenus par des individus différents ; chacun doit posséder à la fois une bonne connaissance disciplinaire et une ouverture suffisante au savoir des autres ; s'agissant d'un domaine qui concerne les sciences de l'Homme, celles de la matière et celles de la vie, l'économiste, utilisant cette approche, se trouvera ainsi confronté à la biologie, à l'écologie, à la thermodynamique, à la théorie de l'information dont il lui faudra tenter d'intégrer les enseignements de façon cohérente ;
- problème de communication également, dans la mesure où l'on s'adressera à tout moment à des spécialistes et à des non-spécialistes : tel développement qui apparaîtra à ceux-ci comme excessivement rapide, constituera pour les autres un insupportable rappel de connaissances élémentaires ; à l'inverse, des références qui seront considérées comme un luxe inutile pour les premiers, sembleront encore insuffisantes aux seconds, etc.

Toutefois, comme le signale Passet " si chacun, au nom de la pureté disciplinaire, refuse de se hasarder dans les zones d'interférence où les découpages conventionnels cessent d'avoir cours, certains problèmes ne seront jamais abordés.

L'économie doit donc se doter des outils qui lui permettent de dialoguer avec l'écologiste, le physicien, le biologiste... et de bénéficier des enseignements que chacun, dans sa discipline, peut lui apporter ; faute de quoi, il se condamne à ne pouvoir rendre compte d'aucune des conséquences que l'activité économique comporte pour son environnement. Ce dialogue devient une exigence de la survie" (Passet R. 1996, p. 9).

Si la sphère économique conçue au sens strict possède sa logique et ses finalités qui, à son niveau, fait de l'instrument monétaire un valorimètre, imparfait sans doute, mais un valorimètre qui, après correction, reste certainement irremplaçable, au niveau de la biosphère cet instrument monétaire ne nous est d'aucun secours. Le rythme d'épuration des eaux ou de l'atmosphère, leur degré de pureté, ne se traduit pas en francs ; une réserve d'énergie exprimée en kilocalories correspond à une réalité physique, alors que, traduite en valeur monétaire, elle perd toute signification ou presque. Ce qui sépare au fond les tenants de cette approche des néoclassiques, est le degré de confiance d'une part, dans les capacités

issue avait reçue un grand marquant jusqu'à la publication de Georgescu-Roegen's (1971) *The Entropy Law and the Economics Process*. Toutefois, les êtres humains ne sont pas des simples utilisateurs de matériel, ils sont aussi des inventeurs et des constructeurs. En particulier, les sociétés humaines sont des "systèmes ouverts" dans le sens de Prigogine (1980). La théorie physique du système ouvert est relativement nouvelle et vient d'être formulée et généralisée, mais elle n'est pas capable de fournir une idée sur le comportement du système qui est loin de l'équilibre thermodynamique. En effet, l'approche du système ouvert offre une alternative et un point de vue complémentaire à la nature biophysique de l'activité humaine (Prigogine and Stengers, 1984).

Les problèmes politiques et moraux

- Influencer les décideurs : l'expression la plus souvent utilisée montre que les écologo-économistes donnent une grande priorité à l'influence de ceux qui prennent des décisions ayant des conséquences importantes sur l'écosystème. Par exemple, l'interdiction de la production et la vente des fluocarbures est une question courante. L'utilisation du pouvoir nucléaire civil est un autre exemple. Dans les deux cas les praticiens ont cherché à mettre en œuvre des arguments, généralement contradictoires, de manière à pouvoir changer les politiques selon leurs désirs.
- Structurer l'analyse morale des choix intertemporels et interespèces : il est apparent que les générations futures ne peuvent pas contribuer dans les activités marchandes courantes. Elles ne peuvent offrir aucune chose aux présentes générations en contre partie d'une conservation des ressources pour une utilisation future. Comment les droits des futures générations peuvent-ils être établis et justifiés ? De la même façon, la vie humaine est l'une des formes de vie dans l'écosystème, mais dans l'analyse conventionnelle seulement les désirs et les besoins humains sont considérés. Est-ce que les droits des espèces non-humains pourront et seront considérés ? Ces deux questions peuvent être discutées raisonnablement seulement dans un vaste cadre socio-naturel, à savoir celui offert par l'approche d'économie écologique (Daly, 1997).
- Structurer l'analyse politique : il est reconnu que le monde est un espace très compliqué et la moindre cause peut avoir plusieurs conséquences et inversement, la moindre conséquence peut avoir plusieurs causes. L'interaction entre l'écosystème et les activités humaines est particulièrement riche en tels rapports. Par exemple, l'impact du climat, le développement de l'écosystème et l'activité économique dus à l'augmentation du niveau de dioxyde de carbone constituent généralement des domaines très reconnus pour être étudiés. Ils ne sont pas encore des domaines où un simple et général signe d'acceptation peut être utilisable. L'économie écologique offre un forum de consistance et de cohérence pour l'analyse d'un tel domaine d'interaction.

technologiques de l'humanité à faire face à la diminution inévitable d'un certain nombre de ressources naturelles et d'autre part, dans les mécanismes de marché, peut être parce que ceux-ci ne font pas partie de leurs instruments d'analyse. En effet, les partisans d'une soutenabilité faible considèrent que le prix d'une ressource qui se raréfie augmentera proportionnellement à la raréfaction, ce qui entraînera de manière automatique un réajustement de la consommation à la baisse. Les partisans d'une soutenabilité forte estiment au contraire que le marché et les prix ne peuvent systématiquement rendre compte de l'état réel de l'environnement et de ses ressources, dans la mesure où il existe des effets de seuil, mais aussi des retards dans la perception des nuisances, qui rendent les marchés partiellement inefficaces quant à la qualité des signaux qu'ils envoient (Abdelmalki L., et Mundler P., 1997).

Un certain nombre des tenants de ce mouvement prolongent alors la conception de la soutenabilité forte en abandonnant définitivement toute référence à la théorie néoclassique du capital au profit d'une loi d'équilibre des écosystèmes.

III.3.4.2 Une approche d'évolution et de coévolution

La conception coévolutionniste considère le capital naturel comme une contrainte sévère à la croissance économique, mais admet qu'un compromis est possible, à l'aide d'une définition adéquate des contraintes à respecter et d'un usage habile des instruments économiques d'incitation. Cette approche insiste sur l'instabilité, la multidimensionnalité, la complexification croissante du vivant et sur la nécessité d'organiser une évolution harmonieuse entre l'économie et la préservation de la biosphère.

Le concept d'évolution, comme le définit Costanza (1991), "est une notion guide à la fois pour l'écologie et l'économie écologique. L'évolution est le processus de changement dans les systèmes complexes à travers la sélection de traits transmissibles ; que ces traits soient les formes et les caractéristiques programmées du comportement des organismes transmis génétiquement ou les institutions et les comportements culturels transmis par des artefacts culturels, livres ou contes au coin du feu, ils relèvent tous de processus d'évolution. L'évolution implique un système d'adaptation dynamique de non-équilibre, plutôt que le système d'équilibre statique que suppose souvent l'économie conventionnelle".

La coévolution est un concept dérivé directement de la biologie selon lequel un processus d'évolution est basé sur l'interaction réciproque de deux espèces interagissant de façon étroite. Cette notion a été étendue aux interactions pouvant

exister entre deux systèmes évolutifs, en l'occurrence le système socio-économique et le système écologique. La coévolution apparaît lorsque survient un changement dans une partie de l'un des systèmes, qui provoque de multiples changements dans les mécanismes de rétroaction (Faucheux S., 1995).

III.3.4.3 Une approche insistant sur la rationalité procédurale

Les écologo-économistes insistent sur le fait que la plupart des problèmes environnementaux conjuguent incertitude fondamentale et irréversibilité. Cela implique le dépassement des limites des approches environnementales stochastiques fondées sur la théorie de la décision bayésienne et sur l'hypothèse de rationalité substantielle. L'optimisation n'est plus de mise, non seulement en raison de l'«incertitude forte» quant au devenir coévolutif des systèmes économiques et écologiques, mais aussi parce qu'en ce domaine les fonctions objectifs sont multiples. A côté des objectifs économiques et sociaux, doivent être intégrés des objectifs écologiques qui sont en interrelation avec les premiers. Il faut alors définir, parmi différentes options possibles, des solutions satisfaisantes selon le principe simonien de la rationalité procédurale.

La rationalité procédurale se traduit dans le comportement des agents par la mise en place de procédures et de règles convenues de conduite collective. Les individus décomposent leur objectif principal en sous-objectifs qui, les uns après les autres, permettent la réalisation de l'objectif principal. Ce type de rationalité met l'accent sur les capacités cognitives des agents, à savoir leur incapacité relative à traiter simultanément et à mémoriser toute l'information qu'ils reçoivent. Il ne s'agit pas donc de viser un *optimum*, objectif de la rationalité substantielle, *introuvable*, mais *d'agir au mieux*, compte tenu des informations disponibles.

III.3.5 Le maintien d'un stock de capital naturel constant : une condition nécessaire de la soutenabilité

Pour les écologo-économistes, la question de développement durable est celle de l'articulation de deux processus de destruction créatrice sur un plan élargi : celui qui conduit l'évolution du milieu naturel comme ensemble complexe et celui qui caractérise le développement économique dans ses trois dimensions : économique *stricto sensu*, socioculturelle humaine et naturelle.

Contrairement aux économistes néoclassiques, tenants de la soutenabilité faible, qui postulent une substituabilité quasi illimitée entre les deux formes du capital naturel et non naturel, (humain et manufacturé), les tenants de cette approche considèrent la

dépendance de l'économie vis-à-vis de l'environnement en reconnaissant la spécificité de celui-ci en terme d'irréductibilité du capital naturel au capital accumulé par l'homme. Ils renoncent donc à l'hypothèse de substituabilité illimitée pour adopter une substituabilité limitée qui tendrait plutôt vers une certaine complémentarité des deux formes de capital.

La justification de l'adoption de cette hypothèse se base sur le fait que d'une part, les nouvelles techniques ne sont pas nécessairement moins dommageables que les anciennes pour l'environnement, ni qu'elles sont plus économes des ressources naturelles ; ils mettent en doute la thèse de la disponibilité permanente de technologies de réserve susceptibles de pallier la hausse des prix de ressources devenues plus rares. Ils soulignent que, l'incertitude et l'irréversibilité sont la règle en matière d'environnement ; à la différence des changements imprimés au patrimoine artificiel qui sont susceptibles de faire l'objet de réparation, les altérations infligées à l'environnement (destruction de forêts sauvages, anéantissement d'espèces animales ou végétales, etc.) peuvent être plus ou moins définitives et irréversibles.

De plus, ils considèrent que le capital naturel constitue le système terrestre de la vie même, avec toutes ses interdépendances et complexités. D'où l'existence de limites aux possibilités de substitution entre les différents capitaux naturels et entre le capital naturel et le capital produit, et à un optimisme nuancé quant aux applications du progrès technique aux biens et services naturels. C'est la raison pour laquelle selon P. Victor (1994, p191), "le capital naturel doit être considéré comme une catégorie complexe et distinguée de l'ensemble des autres formes de capitaux".

Daly tire quatre principes économiques de son analyse du développement durable (Daly cité par Prades J. A., 1992).

- 1 Limiter l'activité (et par conséquent la population) humaine à un niveau soutenable. Il ne peut y avoir de croissance durable à long terme, seulement un développement, de nature qualitative. Ce principe reste encore très théorique, par manque d'outils : les trois principes suivants peuvent aider à le concrétiser.
- 2 Le progrès technique devrait viser l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles.
- 3 L'exploitation des ressources renouvelables ne devrait pas dépasser leur capacité de régénération ; de même, le niveau de pollution devrait être inférieur à la capacité d'absorption de l'écosystème.
- 4 L'exploitation des ressources non renouvelables ne devrait se faire qu'au rythme de la création de substituts renouvelables.

Toutefois, contrairement au courant de "l'Ecole de Londres", l'évaluation monétaire

de ces principes de développement n'est pas nécessaire. Avant de se répercuter sur la sphère économique, une perturbation environnementale devra être perçue qu'au moyen d'instruments de mesure biologiques ou physiques.

Pour cette approche il y a alors une limite de substitution non seulement entre capital naturel et capital artificiel, mais également et surtout entre les différents types de capitaux naturels.

III.3.6 Les limites théoriques de l'économie écologie

En dépit de leurs analogies formelles, les logiques économiques et les logiques écologiques révèlent toutes leurs divergences voire même leur caractère substantiellement conflictuel, dès que l'on tient compte du rôle joué par l'homme au sein des deux systèmes ; alors que, dans le système économique, l'homme a un rôle dominant et la nature est simplement un gigantesque "butin" qu'il peut exploiter à ses propres fins, dans le système écologique, l'homme n'est qu'un élément parmi tant d'autres, le tout formant un réseau d'interdépendances complexes.

Le caractère conflictuel entre la logique économique et la logique écologique apparaît clairement lorsque l'on considère la croissance comme condition normale de tout système économique alors que les systèmes écologiques tendent à être statiques. Pareillement tandis que les « besoins écologiques » tendent à être constants et répétitifs, les « besoins économiques », eux, sont infinis. Par conséquent, tant les ressources naturelles que l'environnement finissent par être exploités à un rythme plus rapide que celui autorisé par leur régénération naturelle (Querini G., 1996).

En outre, malgré qu'elle rassemble désormais une communauté scientifique identifiée, cette approche n'est pas encore parvenue au stade de fournir des instruments d'analyse éprouvés et normalisés. Un ensemble analytique de référence permettant une réfutation claire. Il convient donc de démarrer prudemment vis à vis de cette approche (Boisson J.M., 1996).

Conclusion

La lecture des différentes approches et paradigmes avancés dans ce chapitre marque clairement leurs complémentarités, leurs convergences, mais aussi leurs points de grippage et de tensions et montre que l'interface activités économiques environnement dans toutes ses dimensions restera un domaine de recherche très actif et très complexe, tant au plan appliqué que théorique. Cette complexité est plus apparente en particulier quant il s'agit d'analyser et d'appréhender l'interface

agriculture-environnement naturel où les phénomènes biologiques interviennent fortement.

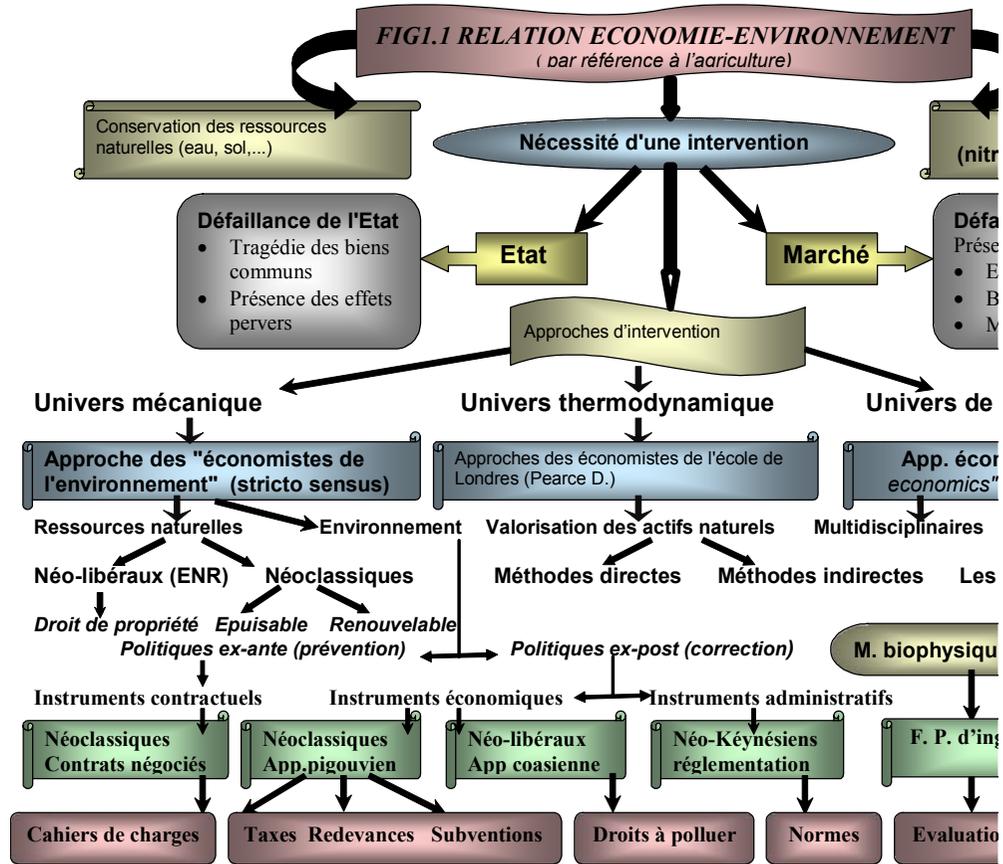
L'approche des économistes de l'environnement d'inspiration néoclassique se rattache au paradigme dominant dans la science économique : celui qui va de la rationalité à la recherche de l'intérêt individuel, du progrès technique à la domestication de la nature, de la domination du social par l'économie à la sacralisation de la croissance économique infinie. La critique, menée depuis l'intérieur de la problématique néoclassique, doit être alors prolongée par celle qui interroge les concepts et modèles de croissance et de développement que l'économie de l'environnement adopte sans discussion et qu'elle permet ainsi de pérenniser par un habillage écologique qui dissimule le fait qu'ils soient aujourd'hui en crise profonde. De même cette approche ne surmonte aucune des difficultés méthodologiques de la pensée néoclassique en général et elle ne dépasse pas la tendance à l'autonomie dominatrice de la sphère économique. Non seulement elle n'abandonne pas la vision anthropocentrique faisant de l'homme le centre de l'univers, mais elle ne réussit même pas à se défaire d'une vision de l'homme réduit au simple *homo oeconomicus* (Harribey J.M, 1997).

L'approche de "l'Ecole de Londres" est tout à la fois compréhensible et décevante dans sa volonté d'une homogénéisation de l'analyse par la recherche d'une monétarisation des valeurs d'environnement. Elle est en revanche intéressante dans l'affirmation de contraintes environnementales exogènes au raisonnement économique, tout en maintenant la cohérence globale de ce raisonnement.

Pour l'approche d'économie écologique, l'économie s'insère dans la société humaine qui elle-même s'inscrit dans la biosphère. La rationalité de la reproduction des systèmes vivants fonde une nouvelle éthique dont les valeurs ne sont pas réductibles à l'économie et qui peuvent s'exprimer par deux principes. Les écosystèmes ont une existence qui ne peut être mesurée en termes marchands et dont le respect est un principe de vie et non un principe économique. La reproduction des systèmes vivants inclut le respect de la vie des êtres humains, dans ses formes matérielles et culturelles.

Pour l'agro-économiste, ces trois approches ont du sens. Sa formation en physiologie lui confère une sensibilité particulière à l'approche de l'économie écologique. Mais la formation économique réclame une approche plus orientée et plus tournée vers l'action.

Nous avons trouvé une sorte de réponse à cette double sensibilité au travers la méthodologie des modèles de couplage bio-économique, que nous allons maintenant présenter.



CHAPITRE 2 : AGRICULTURE, ENVIRONNEMENT, ÉROSION : LA PROBLÉMATIQUE

Introduction

L'environnement naturel suscite des préoccupations croissantes dans la plupart des pays développés, en partie ceux qui ont pris conscience du caractère cumulatif de certains problèmes et surtout ceux dont les gouvernements subissent une forte pression par les attaques de leurs électeurs, bien que cette prise de conscience n'ait pas encore atteint la dimension mondiale.

En effet, les préoccupations relatives à l'environnement naturel ont été longtemps le fait des pays industriels confrontés à de graves problèmes de pollution. L'opinion selon laquelle la protection de l'environnement est un luxe que peuvent seulement s'offrir les pays riches a longtemps prévalu dans les organisations internationales. Les pays du Tiers Monde dont l'économie est dominée par le secteur agricole commencent à peine à se doter d'une législation cohérente en la matière.

La plupart des pays se trouvent, aujourd'hui, confrontés à un défi environnemental majeur dont l'agriculture est à la fois responsable et victime. En effet, le développement de l'agriculture et de l'élevage qui a connu un essor considérable a entraîné des bouleversements profonds dans les rapports de l'homme avec la nature. Pour satisfaire les besoins de populations de plus en plus nombreuses, l'homme a été amené à puiser dans la nature au-delà de ce que celle-ci était en mesure de lui donner perturbant ainsi l'équilibre écologique préexistant.

Cependant, en dépit des mesures correctives de grande envergure qui ont été prises pour atténuer les effets des perturbations écologiques infligées au milieu naturel et malgré que nous disposions actuellement de connaissances scientifiques plus approfondies et de moyens technologiques très sophistiqués et très performants, la pression sur les ressources naturelles est encore plus forte et de plus en plus altérée.

Les interactions entre l'agriculture et l'environnement ont fait l'objet de nombreuses études dans les différentes régions du monde examinant ainsi la forte dépendance entre ces deux domaines. Inspiré par ces diverses études, ce chapitre se propose d'avancer, après un bref aperçu sur les différentes formes de relations qui peuvent exister entre l'agriculture, l'environnement et les ressources naturelles, la

problématique actuelle de la relation agriculture-environnement vue par la science économique et ceci à travers un exemple concret : l'érosion du sol. En effet, comme pour de nombreux problèmes environnementaux, l'érosion comporte ainsi un fort impact externalisé vers la société et l'environnement, à partir des méthodes de production qui peuvent apparaître justifiées (car rentables) aux yeux de l'agriculteur (comme par exemple la culture de céréales parallèlement à la pente pour une mécanisation plus aisée).

I. La relation agriculture-environnement : fondement historique

Le débat sur la relation agriculture-environnement se situe généralement autour de deux grands axes de réflexions diamétralement opposés. Le premier axe que l'on qualifierait de "prédateur" où les relations entre agriculture et environnement sont souvent perçues sous l'angle exclusif de la réduction des impacts négatifs de certaines pratiques agricoles sur les paysages et les écosystèmes : destruction des sols, pollution des eaux, drainage des prairies humide...A l'opposé, dans le second que l'on appellerait "traditionnel" se développe une démarche de qualité mettant en valeur le rôle joué par l'agriculture dans l'entretien et la gestion des espaces naturels indissociable de son rôle de production (J. M. Boisson, 1998).

Toutefois, l'ampleur prise par ces deux axes au cours de ces dernières décennies ne date pas d'aujourd'hui, des inquiétudes sur la qualité des milieux ont déjà abouti, dans le passé, à des interventions sur l'agriculture et en particulier à des réglementations encore en vigueur aujourd'hui même si les problèmes ont changé. Un bref aperçu sur l'histoire de la relation agriculture-environnement et la manière dont celle-ci est intégrée dans les politiques agricoles actuelles serait donc très utile pour comprendre et analyser la problématique des relations activités agricoles et protection de l'environnement.

1.1 Aperçu historique de la relation agriculture-environnement

L'agriculture a toujours été très étroitement liée à l'environnement. Ce lien s'est établi de diverses manières : production de denrées alimentaires et de fibres, présence humaine dans les campagnes qui contribue à maintenir la viabilité et la diversité des communautés rurales, entretien du paysage et des habitats, mise en place d'équipement de tourisme et de protection de l'environnement.

Toutefois, dans le passé, cette interdépendance était plutôt bénéfique pour l'environnement étant donné que l'essentiel des techniques agricoles était maîtrisé,

en particulier, le labour par traction attelée, la houe, la bêche, la hache, l'effet du fumier et des légumineuses, l'irrigation et le pompage de l'eau, etc. L'agriculture a joué donc un rôle crucial dans la conservation et la création de milieux riches en espèces.

Au cours de la dernière décennie, cette interdépendance s'intensifie de plus en plus pour deux raisons : d'une part, la prise de conscience plus aiguë de la signification de l'agriculture pour l'environnement s'est manifestée en raison des inquiétudes croissantes suscitées par les conséquences écologiques directes de certaines pratiques et politiques agricoles sur la dégradation de l'environnement. Au nombre de ces phénomènes, figurent notamment la pollution des eaux souterraines et superficielles par l'infiltration et le ruissellement d'engrais azotés ou à base de phosphate et des pesticides, l'érosion et le tassement des sols, l'assèchement des zones humides, la pollution atmosphérique due aux déjections animales et aux traitements phytosanitaires des cultures intensives, et enfin, le défrichement des terres agricoles. De la même façon, les politiques assurant le soutien des revenus et des prix des produits, outre qu'elles risquent d'isoler les producteurs des signaux émis par le marché, peuvent aussi se répercuter sur l'environnement, par exemple en favorisant une utilisation intensive des terres et autres intrants agricoles, en détruisant l'équilibre écologique et en portant atteinte à certains biens d'intérêt public comme un paysage rural agréable (Thiebaut L., 1994).

D'autre part, une baisse de la qualité de l'environnement due à des activités autres qu'agricoles, a une incidence défavorable sur le secteur agricole et sur la productivité du territoire. Il s'agit notamment de la pollution de l'atmosphère et de l'eau produite par les industries et par l'urbanisation, de l'évacuation des eaux usées, des menaces pesant sur la planète comme l'appauvrissement de la couche d'ozone et la modification du climat, ainsi que la pollution par les métaux lourds et les substances toxiques.

Par conséquent, une intégration des politiques agricoles et environnementales serait mutuellement bénéfique, à condition que les considérations relatives à l'environnement soient prises pleinement en compte dès les premiers stades de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques agricoles, et que l'exécution des politiques environnementales prenne en considération les effets potentiels de celles-ci sur la production, les revenus et les prix agricoles.

Une politique environnementale seule n'est pas suffisante pour atteindre ces objectifs. Les principes d'une gestion écologique des ressources doivent être

intégrés dans toutes les politiques sectorielles telles que l'industrie, les transports ou l'agriculture. Il faut agir à la source et non pas seulement tenter de corriger à posteriori les effets négatifs de ces activités. Il faut donc promouvoir une nouvelle agriculture qui soit durable sur le plan économique, social et environnemental : les revenus des agriculteurs doivent être suffisants, la gestion des zones rurales doit être source de bien-être pour les agriculteurs et les citoyens qui vivent, et l'impact de l'agriculture sur l'environnement doit être le plus positif possible.

1.2 Les effets de l'agriculture sur l'environnement

L'analyse et l'interprétation des effets de l'agriculture sur l'environnement peuvent être envisagées de deux points de vue diamétralement opposés : l'agriculture gardienne de l'environnement (effets externes positifs) et l'agriculture prédatrice sur l'environnement (effets externes négatifs) (J.M Boisson, 1998).

Pour le premier point de vue, inspiré par le discours de G. Pompidou en 1971, l'agriculture est considérée comme le gardien ou mieux encore le jardinier de la nature. Les agriculteurs ont un rôle déterminant en renforçant cette relation par le jeu de leurs responsabilités qui sont de deux ordres complémentaires : en tant que producteurs de produits alimentaires et de fibres de qualité, et en tant que gardiens de la nature. Ils assurent la viabilité économique à long terme de la production agricole, les fonctions d'intendant des ressources naturelles de base de l'exploitation, l'aménagement du territoire, la protection, l'entretien ou la valorisation d'autres écosystèmes sur lesquels influent les activités agricoles, et créent un cadre naturel agréable et des attraits visuels. Cette représentation est encore largement acceptée, et constitue le fondement d'une nouvelle manière de concevoir ou de justifier les transferts financiers vers l'agriculture dans les pays de l'OCDE.

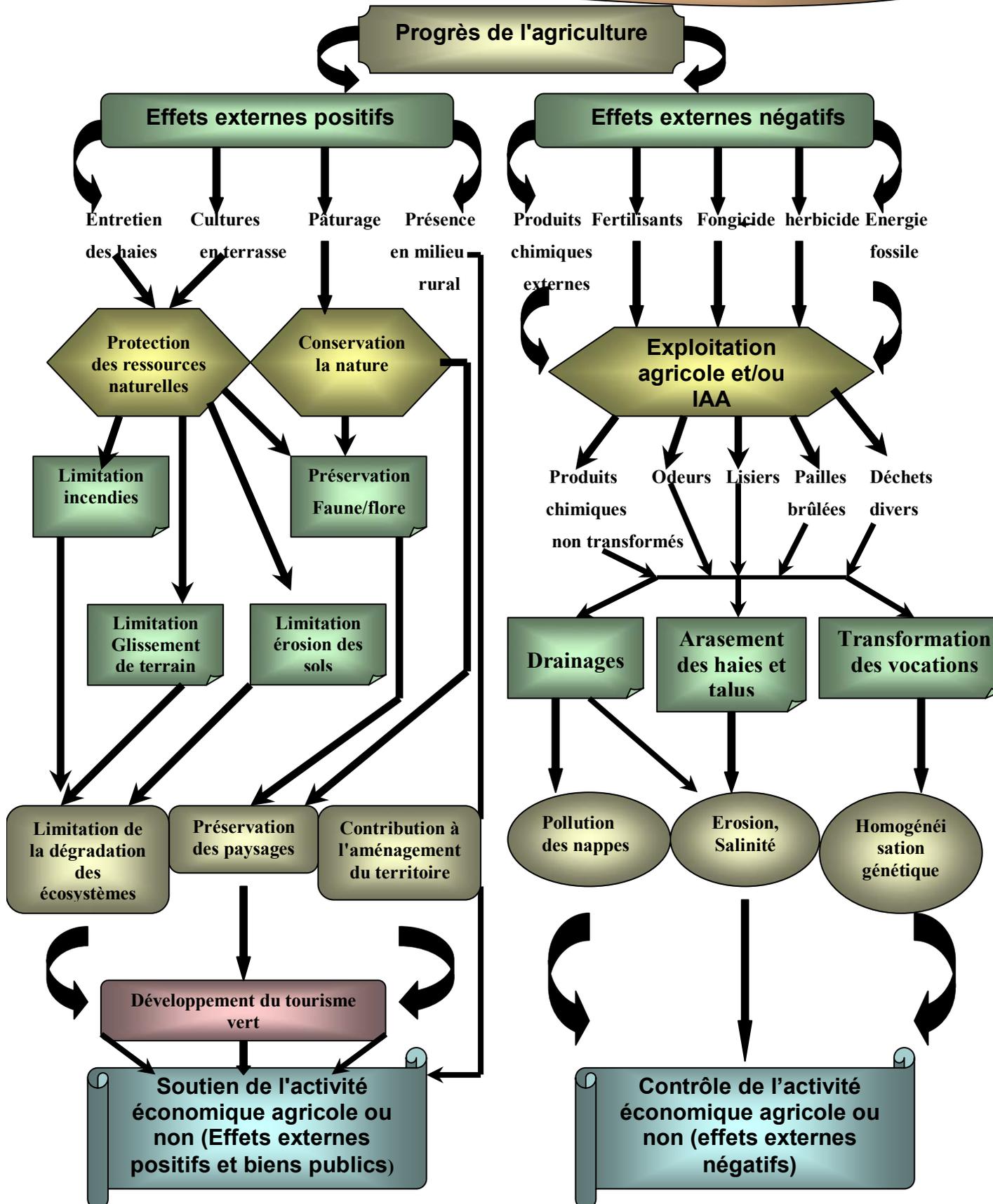
Pour le second point de vue, l'agriculture est considérée comme une activité économique à part entière, exerçant donc au même titre que les autres activités industrielles une influence à priori dangereuse et génératrice de gaspillage d'externalité négative et de gaspillage de l'environnement en tant que bien gratuit ou libre. Cette manière plus récente se développe spécialement dans les pays développés où l'action "prédatrice" de l'agriculture sur l'environnement est plus évidente et pose des problèmes désormais importants. Ces problèmes revêtent trois aspects fondamentaux. Premièrement, l'étendue et la nature des sols en exploitation reflétant l'extension en superficie des activités agricoles. Au fur et à mesure que les activités agricoles se développent ou reculent, des terres sont mises en exploitation ou hors culture, ce qui d'ordinaire modifie les prestations environnementales qu'elles

fournissent. Ainsi, lorsque de nouvelles terres sont mises en culture, il en résulte parfois des modifications de la salinité ou de l'acidité, la disparition d'une partie de la végétation ou l'érosion du sol.

Le second aspect concerne la quantité et la nature des intrants non fonciers qui, associés au sol, contribuent à la production végétale et animale. L'augmentation de la quantité d'intrants non fonciers par unité de superficie s'appelle intensification en intrants. Ce qui préoccupe surtout le public, c'est précisément cette intensification, notamment l'emploi accru de produits chimiques, fertilisants, antiparasitaires (herbicides, fongicides) volontairement apportés dans le processus de production et qui demeurent dans le sol ou sont évacués par les eaux. Ces produits qui peuvent jusqu'à une certaine limite quantitative être considérés comme un bouclage du cycle bio-géo-chimique deviennent au contraire des pollutions lourdes à partir du moment où l'apport initial en matières diverses a été intensifié sans relation avec les possibilités de recyclage, et en particulier les surfaces agricoles. Le lessivage des nitrates vers les nappes aquifères suscite, par exemple, une inquiétude considérable dans la plupart des pays et en particulier dans les pays développés.

Le troisième aspect tient aux structures de production elles-mêmes et aux transformations des écosystèmes pour les adapter aux nécessités d'une production agricole intensive. Il s'agit des opérations de remembrement, avec arasement des haies et des talus, des opérations de drainage avec destruction des multiples habitats que présentent les zones humides pour la faune et la flore sauvage, des modifications des vocations des sols par transformations des prairies en terre arable, etc. Il convient de citer, enfin les pertes de diversité génétique du fait de la normalisation des plans et des produits et la recherche de rendements toujours croissants.

FIG.1.2 LES EFFETS DE L'AGRICULTURE SUR L'ENVIRONNEMENT



Source : élaboration personnelle à partir du cours de DEA de J.M. BOISSON

II. Relation agriculture-ressources naturelles : un lien évident

II.1 Le concept de ressources naturelles en économie

Tout le monde a probablement une notion intuitive de ce que recouvre le terme « ressource naturelle ». Il n'est cependant pas évident d'en donner une définition à la fois rigoureuse et éclairante.

Dans les écrits des économistes, il est très difficile de trouver des définitions du concept de ressource naturelle, comme dans les écrits des autres disciplines. Des concepts voisins sont utilisés qui, en fonction du contexte économique et social, peuvent implicitement remplacer celui de ressource.

II.1.1 Les ressources naturelles dans la pensée économique

Sans prétendre traiter l'ensemble du problème, en remontant aux fondateurs des sciences économiques, on trouve différentes approches qui illustrent la diversité des conceptions (Louhichi K., 1997).

- chez *les physiocrates* du 18^e siècle, et en particulier dans le tableau économique de Quesnay, il n'y a de richesse que la terre qui seule est productive de valeur donc d'un supplément net de revenu.

- pour *Adam Smith* la richesse des nations est constituée par un flux qui pourrait être assimilé au Revenu National produit pendant une période ou plus exactement "par les biens de consommation annuellement reproduits par le travail de la société".

- pour *Malthus* les obstacles majeurs à la croissance se trouvent dans les limitations des moyens de subsistance définis comme l'offre minimum des denrées nécessaires à l'existence biologique.

-chez *Ricardo* est développée l'idée que la rareté des ressources naturelles est à l'origine de la fin de la croissance économique. La rente agricole, liée à la différence de fertilité des sols successivement mis en valeur, participe à la création de valeur, et également à sa répartition. Plus généralement, si l'on se réfère aux écrits récents de P. Sraffa, l'accent est mis sur l'articulation entre des biens fondamentaux et des biens non fondamentaux pour expliquer que seuls les biens fondamentaux, qui entrent directement ou indirectement dans la production des autres biens, ont un rôle à jouer dans la détermination du produit net de l'économie.

Pour Malthus les limites à la croissance tiennent au coût d'utilisation des ressources que peut supporter une société. Pour les ricardiens, il n'existe pas de limites absolues à la rareté des ressources mais seulement les limites relatives liées à

l'élévation croissante des coûts d'extraction et de mise à disposition des ressources.

L'analyse économique actuelle et en particulier *néoclassique* a recours à la notion de facteur de production ou d'input défini comme tout bien ou service utilisé pour obtenir une production. Les inputs constituent en fait les ressources dont dispose l'homme pour son activité économique. Il s'agit "des ressources humaines, des ressources naturelles et des ressources créées par l'Homme qui applique son travail aux éléments naturels" (Barre, cité par Boude J.P.). Cela permet de retrouver la classification habituelle des facteurs de production en travail, capital et terre.

On s'aperçoit qu'il existe dans cette approche une indétermination sur le statut des éléments naturels. Tels qu'ils sont définis en terme de facteur, les facteurs naturels apparaissent comme "des ensembles de bien aménagés en vue du maintien de leur intégrité et de leur capacité de reproductibilité" (Barre, cité par Boude J. P.). Ils ont à la fois un statut de facteur et un statut d'objet sur lequel porte l'effort de mise en œuvre des facteurs de production.

II.1.2 Les ressources naturelles et la rareté

Actuellement, la pensée dominante en économie considère que la notion des ressources est liée essentiellement à l'existence de marchés, et de la rente. "Tout naturellement", l'économiste résoudra par le marché ce qu'il considère comme des questions de marché. Cette notion renvoyant elle-même à la nature de la propriété (privée ou collective), à la nature des interactions et de la concurrence pour la ressource, à la valeur de la ressource (Weber J.L., 1989)

Le concept de ressource peut, donc, être lié au concept de rareté. Ce qui n'est pas rare n'est pas une ressource. Par opposition à l'abondance, la rareté d'une ressource exprime son insuffisance par rapport à un besoin ou une demande. Donc, toute ressource ayant un prix de marché positif est considérée comme rare. Le concept peut aussi s'appliquer bien entendu aux ressources dont le marché n'est pas fonctionnel comme les ressources collectives ou communes (indivisibles).

Concernant les ressources naturelles intervenant de façon importante dans toute activité économique, leur concept a depuis longtemps fait l'objet d'une grande discussion (terre, eau). Selon R. Passet (1990) " *L'économiste qualifie de naturelles les ressources qui, outre la force de travail, sont offertes par la nature. Celles-ci, bien que devant être extraites et transformées, n'ont pas à être "produites" ou "fabriquées" au sens propre du terme*". C.W. Howe (1979) précise d'avantage que

ces ressources sont, au pire ignorées, aux mieux appréhendées comme des facteurs de production qui, combinés avec le travail, le capital et les matières premières, produisent des biens et des services. La théorie des ressources considère en général une ressource naturelle comme un facteur de production à part entière, tout en reconnaissant que la plupart des ressources naturelles ont des caractéristiques qui les rendent très proches du capital. Elles sont utilisées dans la consommation ou dans les processus de production, mais avant cela, la plupart des ressources naturelles doivent être extraites ou récoltées.

II.2 Caractéristiques et typologie des ressources naturelles

" Dans un monde de plus en plus «sous influence humaine», l'appel au caractère naturel ne règle pas la question : doit-on considérer la pluie comme un phénomène «naturel» lorsqu'elle est provoquée par ensemencement des nuages ?" (Point P., 1991, p 41).

Dans un tel contexte (technique, culturel, économique,...), les ressources naturelles se caractérisent par une (ou plusieurs) de ces trois propriétés :

- * Leur stock a une valeur intrinsèque (valeur patrimoniale) ;
- * Leurs quantités préexistent à toute activité économique ;
- * Leurs taux de renouvellement sont des variables d'état et non de commande.

Une typologie des ressources naturelles, conçue pour permettre de régler les problèmes de gestion du patrimoine naturel, peut classer et regrouper ces ressources selon plusieurs critères à savoir : leurs caractéristiques physiques et biologiques, leur mode de production et de reproduction leur degré d'appropriabilité privée, leur temps de reconstitution.

En s'appuyant sur la classification de P. Point (1991), reposant sur les propriétés biophysiques, on peut classer les ressources naturelles en deux catégories :

❶ **Ressources naturelles non renouvelables** : ce sont des ressources dont l'usage est nécessairement limité. Dans la catégorie des ressources non renouvelables figurent :

- Des ressources dont l'usage est nécessairement destructif : il s'agit notamment des ressources énergétiques de type fossile, pétrole, gaz, charbon. Toute unité utilisée de ces ressources est détruite. La ressource disponible dépend des quantités exploitées antérieurement ;
- Des ressources recyclables dont une partie est réutilisable après usage comme les

minerais appartiennent à ce groupe ;

- Des ressources à usage non nécessairement destructif, qui pourraient se perpétuer si l'on en faisait un usage convenable ; on pense ici aux sols confrontés aux phénomènes d'érosion, mais aussi à l'ozone stratosphérique par exemple.

② **Ressources naturelles renouvelables** : Ce sont des ressources dont le stock n'est pas fixe et peut augmenter ou diminuer dans le temps. Il augmente quand les apports ou les régénérations dépassent les prélèvements (Pearce D.W. et Turner R.K., 1990). Dans ce groupe des ressources figurent :

- Des ressources dont la quantité annuelle disponible n'est pas liée aux prélèvements antérieurs : on mentionnera par exemple la pluviométrie ou les eaux de rivières.

- Des ressources dont la quantité annuelle disponible est liée aux prélèvements antérieurs. Il s'agit principalement des ressources biologiques. Le stock et la productivité nette d'une population biologique exploitée sont liés aux prélèvements antérieurs.

II.3 Relation entre agriculture et ressource naturelle : le cas des sols

L'agriculture est définie par le Conseil de l'Europe comme « une activité économique qui consiste à transformer des ressources naturelles en aliments et autres produits nécessaires aux besoins d'une humanité en croissance rapide. Parmi les ressources utilisées ou influencées par l'agriculture, on peut citer : le sol, les parcours et pâturages, les forêts, les eaux de surfaces, les nappes phréatiques, les espèces vivantes animales et végétales, l'air, les gisements d'éléments fertilisants et les réserves d'énergie fossile ».

L'absence de prise en compte de la fragilité de l'environnement et des ressources naturelles dans les pratiques agricoles peut avoir pour conséquence la dégradation des qualités physiques, chimiques et biologiques de ces ressources tel le cas de la ressource en sol.

Actuellement, la menace qui pèse sur les ressources mondiales en sols ne cesse de s'alourdir (WBGU, 1994). Cette évolution a notamment des répercussions néfastes sur le développement de l'espace rural dans de nombreux pays en développement. D'un côté, le sol est la base de la production alimentaire et d'autres activités économiques ; de l'autre, il subit la pression d'une utilisation croissante par l'homme. A l'échelle mondiale, la part des sols dégradés par la suite des activités de l'homme s'élève à 24% de l'ensemble des terres habitées (ISRIC/UNEP, 1990).

De nos jours, nous assistons à une augmentation sans précédent de la dégradation

des sols, c'est-à-dire de leur altération et de leur destruction, dues à leur utilisation inadaptée surtout par les agriculteurs, à leur contamination par des polluants et à la consommation d'espace par les infrastructures et les agglomérations. Cette évolution est inquiétante à double titre. D'une part, le sol est une ressource qui ne peut pas être renouvelée à court ou moyen terme ; d'autre part, son utilisation soutenue porte atteinte aux ressources en air et en eau ainsi qu'à la flore et à la faune - c'est donc l'écosystème tout entier qui est touché. Ce problème ne concerne pas seulement les pays industrialisés, mais aussi, dans une mesure croissante, les économies émergentes et les pays en développement, et ce plus particulièrement dans les zones connaissant une agriculture très intensive. La dégradation de la qualité des sols, qui se poursuit à un rythme soutenu dans maints pays, y engendrera à terme une situation critique (migrations). De l'avis de nombreux experts, l'homme et la nature subiront les problèmes liés à la dégradation généralisée des sols bien avant ceux qui résulteront des changements climatiques.

II.4 Les ressources naturelles : quel avenir ?

Durant les deux dernières décennies, le débat, vieux de plusieurs siècles, portant sur la « raréfaction » des ressources naturelles a soulevé de nouveaux problèmes, générant de nouvelles théories du développement économique. Néanmoins, même durant cette phase d'intenses innovations dans le domaine des technologies et des structures de production, le conflit théorique de fond sur l'avenir de ces ressources, en l'occurrence choisir entre le « pessimisme **malthusien** » et l'« **optimisme schumpéterien** », est resté inchangé (G. Querini, 1996).

Le cadre dans lequel s'inscrit le rôle, présent et futur, des ressources naturelles, ainsi que des matières premières qui en découlent, est d'une réelle complexité qui s'intensifie en raison, d'une part, de l'ambiguïté de la définition de la raréfaction quand elle s'applique aux ressources naturelles, et d'autre part, du caractère interdisciplinaire du problème.

La raréfaction d'un bien économique - et *a fortiori* d'une ressource naturelle, c'est-à-dire un bien spécifique qui n'est pas produit par l'homme (un gisement minier, une forêt, un terrain fertile, etc.) - est fonction soit de la quantité physique disponible, soit de la demande de ce bien (Querini G., 1996).

Selon Kenneth Boulding (1966) cité par G. Forger (1997), qui considérait notre planète comme « un vaisseau spatial », toutes les ressources naturelles sont limitées dans l'absolu, et donc « rares » dans le long terme. Cette conception fut celle

adoptée, par exemple, par l'aile la plus dure des écologistes qui s'inspirent du célèbre Rapport établi en 1972 par le « Club de Rome » qui tenta, pour la première fois, de quantifier cette « raréfaction ». Les principales conclusions de ce rapport sont les suivantes : 1) sans changement, on atteindra l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables en cent ans environ ; 2) les solutions partielles que l'on peut imaginer au problème ne sont pas efficaces ; 3) on peut éviter la catastrophe en arrêtant la croissance de la population, la pollution et la croissance économique (Deybe, 1994).

La conception opposée aux idées malthusiennes se fonde sur la capacité, par ailleurs historiquement démontrée, qu'a la technologie de remplacer des ressources naturelles devenues rares par d'autres relativement abondantes. De ce fait, aucune ressource naturelle ne peut être rare par essence. Lorsqu'une ressource donnée le devient du fait de l'exploitation à laquelle elle est soumise, des processus technologiques alternatifs se mettent en place de manière à alléger la pression exercée par la demande à l'égard de cette ressource et à éliminer, en tout cas du point de vue économique, ce caractère rare. Ajouter à cela la croissance de la population mondiale qui s'arrêterait dans deux cents ans ce qui permettrait ainsi d'obtenir une augmentation de la production plus que proportionnelle à celle de la population et par conséquent une diminution de la pauvreté (Tietenberg T., 1994).

Une troisième conception, à mi-chemin entre les deux conceptions précédentes, est celle judicieusement soutenue par Georgescu-Reogen ; ce dernier, en se basant sur la loi de l'entropie, montre comment, à travers des techniques de production, les sociétés industrielles modernes transforment une grande quantité de matériaux. Le principe essentiel de cette transformation est la dégradation des matériaux eux-mêmes dont seulement une petite partie peut être recyclée, c'est-à-dire ramenée à la forme et aux propriétés originelles. Ceci implique, dans tous les cas, un coût énergétique élevé. Le recours à de nouvelles technologies plus sophistiquées peut ralentir, mais en aucun cas arrêter, ce processus de dégradation à l'échelle planétaire. Seule une disponibilité illimitée d'énergie pourrait entraver cette dégradation qui obéit à la loi de l'entropie. L'énergie est donc l'unique ressource « absolument rare » (Querini G., 1996).

III. Agriculture, Environnement : conflits de logique et problèmes de coordination

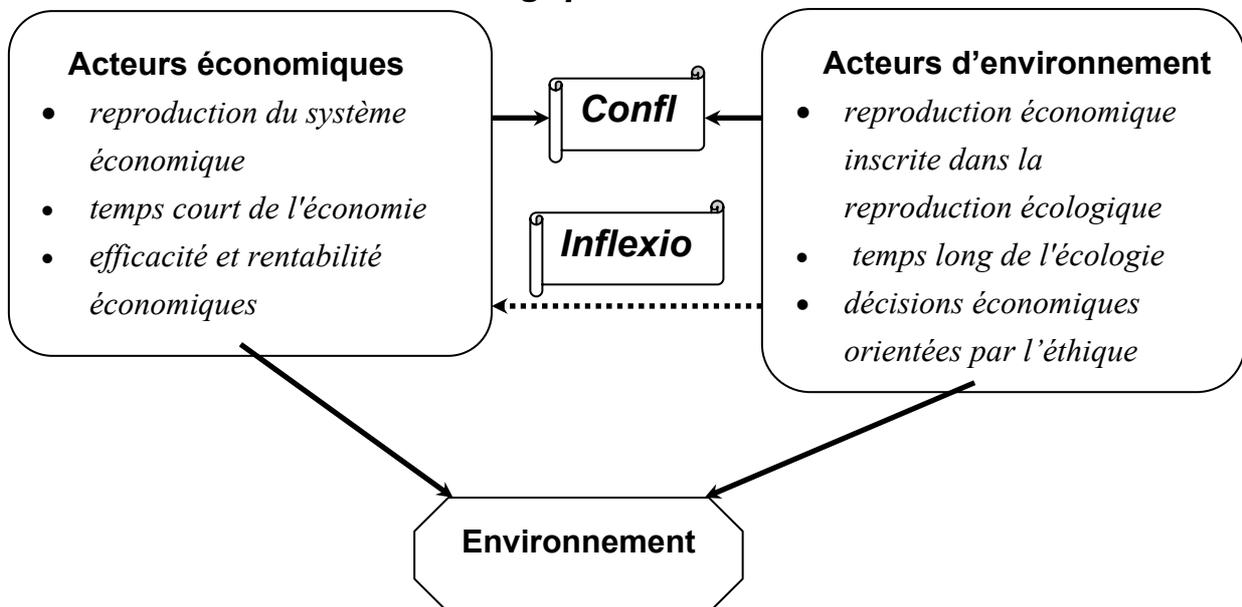
L'agriculture et l'environnement entretiennent des liens étroits et anciens, qui ont été harmonieux pendant longtemps. Cependant, depuis quelques décennies, l'agriculture se trouve au centre d'une révolution technique et d'un processus économique d'intégration verticale, tant en amont avec l'agro-fourriture (machine agricole, engrais...), qu'en aval. Les techniques de culture et d'élevage ne cessent de s'intensifier, leurs instruments techniques (machines, installations fixes) ne cessent de croître en puissance ou en taille, la production de déchets ne finit pas d'augmenter. La plupart des produits quittant la ferme font l'objet, sous une forme ou une autre, d'une transformation industrielle avant d'être consommés. Les agriculteurs, se trouvent soumis à des contraintes de production fixées par les besoins de l'industrie de transformation des produits alimentaires. Ils s'efforcent de s'adapter aux politiques agricoles qui visent à augmenter la production pour assurer la sécurité alimentaire. Cette pression, couplée aux mutations de politiques agricoles a poussé à l'intensification et a suscité une négligence totale des problèmes environnementaux qui peuvent en résulter.

La présence de ce conflit est due en fait à la présence des deux acteurs, ayant des logiques opposées pour ne pas dire contradictoires, qui sont les acteurs économiques et les acteurs d'environnement. Les premiers se caractérisent par la multiplicité de leur intervention sur l'environnement, qui peut être positive ou négative, et considèrent que celui-ci est une préoccupation de second rang par rapport aux contraintes et aux objectifs qui structurent leur action. Les seconds se donnent pour but la préservation de l'environnement avec une particularité de ne jamais agir directement sur le système naturel. Leur action consiste à amener les acteurs économiques et sociaux à faire ce qu'ils ne feraient pas sans l'intervention des acteurs de l'environnement ou à les empêcher de faire ce qu'ils feraient spontanément.

Cette grille d'analyse peut être utilisée pour expliquer toute sorte de conflits qui peuvent exister entre les activités économiques et l'environnement, mais elle est fort pertinente pour l'analyse de l'interface agriculture-environnement, lieu où le conflit est particulièrement vif depuis quelques années entre la logique de régulation sectorielle qui est mise en question en raison de ses impacts négatifs sur le milieu et la logique naissante de préservation du patrimoine naturel ou logique territoriale. Ce conflit se cristallise actuellement à deux niveaux (F. Bel et al. 1995).

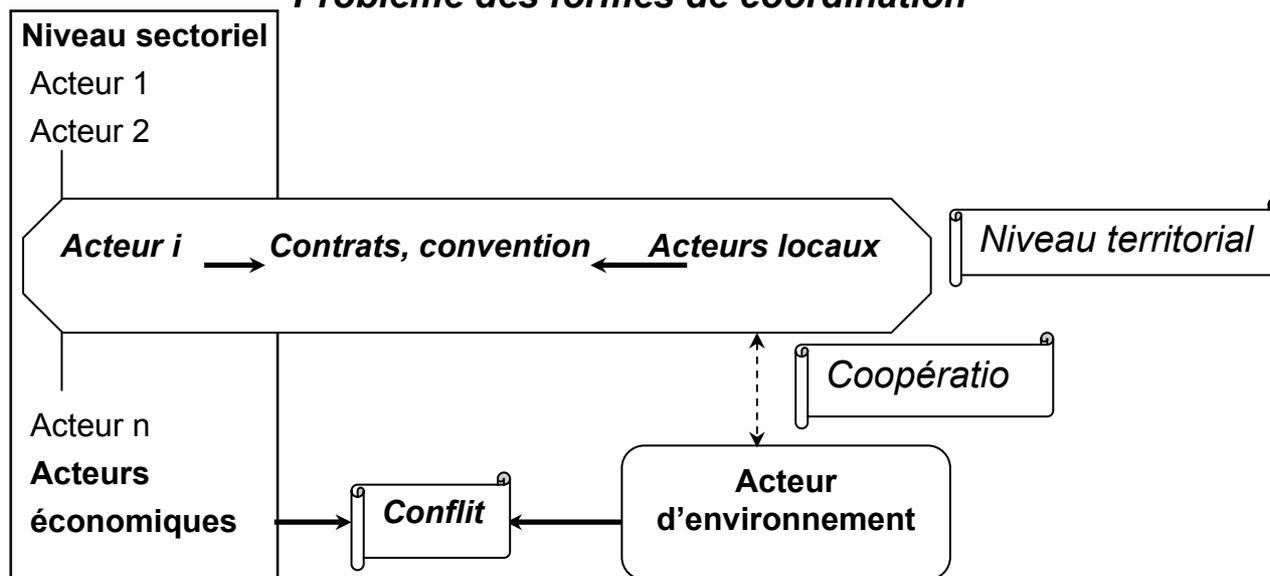
Au niveau de la *logique de fonctionnement des activités*. Il y a, en effet, une nette opposition entre la logique dominante d'efficacité et de rentabilité économique et la contrainte environnementale. Le productivisme s'est développé sur la base de la concentration de la production, de la spécialisation et de la simplification des systèmes, alors que les lois biologiques impliquent diversité, complexité des chaînes trophiques. Il repose sur l'intensification de la production grâce à l'accroissement des intrants d'origine industrielle par unité de surface, accroissement qui remet en cause la capacité d'auto-épuration des écosystèmes. Les rythmes de production et de rotation du capital doivent être les plus brefs possible, alors que les temporalités de l'environnement sont longues et lentes ;

Conflit des logiques de fonctionnement



Au niveau des *formes de coordination des acteurs économiques*, elles sont principalement sectorielles et donc verticales ; celles que les acteurs d'environnement cherchent à promouvoir sont plutôt horizontales et centrées sur des ressources (eau, sol, forêt...). En effet, dans les pays industriels, le succès du productivisme résulte de la très forte cohérence économique et institutionnelle du secteur agricole. Par contre, le domaine d'action de la gestion de l'environnement est nécessairement territorialisée puisque gérer des ressources naturelles suppose de prendre en compte leurs spécificités locales.

Problème des formes de coordination



Promouvoir une agriculture durable suppose donc de concilier efficacité économique et contrainte environnementale. Une agriculture qui ne peut résulter des décisions spontanées des acteurs économiques, mais plutôt par l'intervention d'un acteur extérieur à la logique strictement économique, capable d'imposer des objectifs environnementaux et de gérer des conflits.

Toutefois, vu que les perspectives environnementales vont à l'encontre de la logique sectorielle économique telle qu'elle s'est constituée, la question qui se pose alors est celle de savoir **comment et par le biais de quel instrument peut-on mieux gérer la relation agriculture-environnement et à quels coûts ?**

Cette question assez générale s'insère dans une problématique scientifique complexe et assez large, développée au sein de notre laboratoire, qui consiste à savoir "si on doit considérer l'environnement comme un domaine nouveau auquel il faut appliquer les méthodes et les instruments de l'analyse économique ou bien comme un champ de recherche théorique ouvrant des perspectives spécifiques sur les relations entre les activités économiques et leur environnement naturel " (projet quadriennal LAMETA⁸).

Réduite à l'interaction entre agriculture-environnement cette problématique peut être séparée volontairement en deux grands volets. Un premier volet, d'ordre épistémologique, qui a pour but de s'interroger, en se basant sur les apports de différents courants de pensées contemporaines, d'une part, sur la manière avec

⁸ Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée (LAMETA).

laquelle on doit concevoir la relation entre l'agriculture et l'environnement et, d'autre part, sur le mode de substituabilité entre le capital naturel et le capital artificiel, clé de la compréhension et du maintien d'une agriculture durable.

➤ *Doit-on considérer l'agriculture comme une industrie fortement créatrice d'externalités négatives et positives qu'il convient d'évaluer, par le biais des méthodes et des instruments de l'analyse économique, afin de les optimiser dans un contexte simultané de recherche de l'avantage collectif et d'économie politique ou bien comme une activité économique qui entretient des relations spécifiques avec l'environnement naturel et humain dans lequel elle s'intègre et dont il faut, par l'intermédiaire d'une mobilisation pluridisciplinaire, insérer le développement dans une dynamique coévolutive ?*

➤ *Une agriculture durable, qui s'inscrit dans la logique du raisonnement économique, peut-elle être assurée par le maintien d'un stock de capital global fixe, par le maintien d'un stock de capital naturel constant ou par le maintien d'un stock de capital naturel critique ?*

Un second volet, d'ordre théorique, qui consiste à savoir les moyens et les instruments d'analyse éprouvés et normalisés à mettre en œuvre afin d'analyser et évaluer le champ d'interaction entre agriculture et environnement.

➤ *S'agit-il d'un champ d'interaction où on doit se limiter uniquement à des approches économiques (des méthodes et des instruments économiques) pour l'évaluer ou bien d'un domaine de recherche théorique multidisciplinaire ouvrant des perspectives spécifiques à différentes disciplines et dans lequel l'évaluation économique doit s'articuler à d'autres types d'informations élaborées par d'autres disciplines ?*

➤ *Autrement dit, s'agit-il d'un domaine où l'on peut étendre l'utilisation des instruments d'analyse traditionnels de la discipline économique, spécialement ceux de l'échange marchand, complétés par les apports de l'économie publique : une approche "extension"⁹. Ou bien est-il nécessaire de mieux comprendre l'articulation entre activité humaine et ressources naturelles par une composition pluridisciplinaire entre économie et agronomie : une approche "en compréhension" de la relation agriculture-environnement ?*

Analyser cette problématique nous renvoie, tout d'abord, à la recherche, dans les différentes approches de la science économique, d'une réponse théorique

⁹ Expressions utilisées par J.M. Boisson (1998). Cours de DEA

relativement claire aussi bien du point de vue épistémologique que théorique et ensuite à la formalisation et à l'application, à travers un exemple concret à savoir l'érosion du sol, des instruments et des politiques proposés par ces différentes approches. En effet, si les volets de l'internalisation des externalités environnementales, de gestion des ressources naturelles et de valorisation des actifs naturelles reçoivent des réponses théoriques relativement claires leur mise en œuvre reste toujours très délicate.

Le phénomène d'érosion du sol constitue un exemple concret illustrant la relation agriculture-environnement dans la mesure où l'agriculture en tant qu'activité économique participe directement ou indirectement au développement du problème. En effet, si plusieurs facteurs d'ordre naturels comme la pluie, le vent, la pente, le ruissellement et le sol jouent un rôle primordial dans l'aggravation de l'érosion, les facteurs d'ordre socio-économiques, sur lesquelles porte notre intérêt, telles que les pratiques culturales, les techniques de production et les politiques économiques sont à ne pas négliger.

Pour nous limiter aux sols agricoles, l'érosion constitue un sujet de préoccupation croissante et une problématique permanente tant par son étendue et son ampleur que par la diversité de ses origines et de ses conséquences. Une telle problématique nécessite une réflexion particulière aussi bien sur le plan théorique que pratique, à savoir :

➤ *Doit-on considérer l'érosion comme une externalité par sa nature liée à la production et qu'il faut chercher à internaliser par le biais des instruments réglementaires et économiques ou bien comme un phénomène d'extraction de la ressource naturelle sol et dont il faut élaborer des indicateurs et des normes environnementaux d'extraction sur des bases techniques ?*

➤ *Quel est l'impact de ce problème sur les ressources naturelles, sur l'environnement économique des exploitations agricoles et sur la durabilité de l'agriculture étant donné que jusqu'à nos jours les dégâts liés à l'érosion ne sont pratiquement jamais mentionnés et les différents coûts n'ont jamais été évalués de manière globale.*

➤ *Quels sont les effets des pratiques agricoles, des techniques culturales et de politiques agricoles, notamment les politiques des prix, sur le problème d'érosion du*

sol ? Quel est le degré d'efficacité des politiques et des mesures environnementales mises en œuvre pour lutter contre le problème d'érosion ?

Comment les exploitants agricoles vont concilier leurs objectifs économiques et la conservation de la ressource en sol notamment ceux des pays en développement qui se sont engagés à ouvrir leurs espaces économiques aux règles de la libéralisation du commerce international et aux risques de la concurrence étrangère et par voie de conséquence à l'intensification ?

⇒ Quels sont les pratiques, les instruments (préventifs et curatifs) et les mesures les plus efficaces d'un point de vue économique aussi bien qu'écologique qui peuvent être envisagés pour lutter contre ou du moins réduire les effets directs de ce phénomène à savoir l'ablation du sol ? Doit-on, par exemple, fixer, d'une manière exogène et en fonction des équilibres écologiques, des standards environnementaux «des normes générales d'érosion » dont il faut assurer le respect au moindre coût économique par le biais des méthodes et des instruments issus de l'analyse économique ou bien doit-on endogéniser ces standards en les faisant correspondre à des fonctions de production bien plus spécifiques que les fonctions de productions économiques traditionnelles ?

IV. L'érosion : un exemple de la relation agriculture-environnement

L'érosion est un phénomène courant dans les sols comme conséquence de l'action du vent et de la pluie. L'action physique de ces deux agents (quantité et intensité de la pluviométrie, vitesse des vents, etc.) produit la rupture des particules secondaires en particules primaires et en matière organique. De cette manière, une partie du sol peut être entraînée hors de son lieu d'origine et déposée ailleurs (autre terrain, fleuve, lagunes, barrages, océan... etc.).

Dans un certain nombre de régions méditerranéennes, l'érosion des terres agricoles constitue un sujet de préoccupation croissante. Des manifestations d'érosion, de gravité importante, sont en effet observées, dans des situations considérées, selon les critères classiques, comme pas ou peu sensibles à l'érosion.

Tout le monde sait que le souci de lutter contre l'érosion est déjà depuis longtemps l'expression d'une volonté de préserver une "ressource naturelle" rare : le sol "arable" comme on disait autrefois. Les nouvelles préoccupations environnementales jouent de plus en plus un rôle d'activateur en rendant plus aiguë le sentiment d'un patrimoine à conserver. Elles peuvent toutefois aller jusqu'à introduire une nouvelle

dimension à prendre en considération : la qualité de l'eau, qui est évidemment affectée par les matériaux d'érosion accumulés dans les ruisseaux (ou les lacs), les rivières, les fleuves et la mer, surtout si ces matériaux sont riches en matières organiques, éléments fertilisants ou produits toxiques. Ajouté à cela, les questions qui portent sur la qualité des sols, non pas celle dite proprement agronomique, mais plutôt de la qualité de l'eau lorsque le sol, de filtre épurateur, se transforme, à cause de ses saturations en produits toxiques, en source de «pollution».

IV.1 L'érosion et le renouvellement du sol : les thèses en présence

Pour les agronomes, la qualité des sols peut être appréciée à travers deux caractéristiques : la fertilité et la durabilité.

La fertilité du sol : grâce aux moyens technologiques existants, on sait produire sans sol, sur des substrats inertes et stériles. Parallèlement, on sait que les pratiques agricoles intensives appauvrissent les qualités naturelles du sol et modifient sa structure. C'est le cas, par exemple, lorsqu'on ne rend pas suffisamment de matière organique par rapport à ce qui a été prélevé. Ces insuffisances sont corrigées par des transferts de fertilité comme les engrais chimiques, mais leur utilisation massive peut modifier l'équilibre chimique des sols.

La durabilité du sol : le sol se constitue à partir de la roche mère, il se régénère et se rajeunit en permanence. Les pratiques culturelles contemporaines, l'absence de couverture végétale à certaines périodes de l'année, la diminution de la teneur en matière organique, la monoculture et, bien entendu, la déforestation font que l'érosion va plus vite que la reconstitution du sol.

L'épuisement des sols a des formes et des origines très diverses. Le développement de l'agriculture selon le modèle occidental a eu tendance à imposer une uniformisation des cultures sans tenir compte de la diversité naturelle des sols, accélérant le processus de fragilisation. Dans les pays pauvres, la surexploitation des terres, l'extension des cultures avec raccourcissement des périodes de jachère dans des zones de faible pluviosité, conduisent à l'érosion des sols arables et à la dégradation progressive des terres agricoles.

Toutefois, cette érosion fait-elle du sol une ressource non renouvelable ? Deux discours sont répandus sur la renouvelabilité du sol par rapport à l'érosion. Un premier discours, pessimiste, explique que la formation des sols dure des milliers d'années et que, chiffres de la FAO à l'appui, les paysans sont en train de détruire les sols de la planète. Il montre qu'après défrichement le sol se dégrade progressivement et qu'il existe des effets de seuils sous lesquels l'apport d'intrants

externes n'a plus d'effets. Si les jachères ne peuvent plus restaurer la fertilité, il faut envisager des apports de matière organique pour maintenir le sol à un niveau structural, organique, minéral et biologique minimal. Une trajectoire optimale et durable ne serait donc pas celle qui revient au niveau de fertilité initial mais celle qui maintient l'état du sol au dessus de la non réponse aux engrais et qui applique la dose d'intrants qui annule le revenu marginal.

Le deuxième discours, plus optimiste et qui nous semble le plus logique, considère le sol comme une ressource renouvelable dont la dégradation est réversible ou, du moins, dont le bilan peut être globalement annulé. En effet, d'une part, un taux fort d'érosion annuel, par exemple, dans les collines du nord de la Thaïlande est compensé par une pédogenèse plus rapide (Blaikie cité par Barbier B., 1994) et d'autre part, il est toujours possible de maintenir, voir de créer des sols par la construction des diguettes, des terrasses, des barrages filtrants, des haies ou des bandes enherbées.

IV.2 Relation agriculture érosion

IV.2.1 Importance globale de l'érosion

L'érosion peut être la forme la plus spectaculaire de la dégradation (physique) des sols. Mais l'image largement diffusée des bad-lands méditerranéennes détourne l'attention d'un phénomène plus complexe avec une grande diversité d'intérêts et de situations. D'abord l'érosion a aussi des conséquences positives. Pour la culture *in situ*, Ruellan (1993) rappelle qu'elle régénère, rajeunit en permanence les sols appauvris par la vieillesse et l'épaississement, en particulier les sols volcaniques (Poley, cité par Thiébaud L., 1994) ; en aval, elle apporte des limons fertilisants. Pour la construction, elle renouvelle les gravières des rivières, pour le tourisme elle "engraisse" les plages du littoral, pour la navigation elle enrayer l'approfondissement du lit.

Pour nous limiter aux sols agricoles, l'érosion peut être caractérisée d'abord par son étendue mais les indicateurs de superficies concernés par l'érosion nécessitent de préciser le degré d'érosion auquel se réfèrent ces surfaces. Le taux de perte acceptable dépend évidemment du renouvellement du sol, de la pédogenèse, mais aussi des activités humaines qui supportent cette érosion.

Pour éclairer la place de l'érosion dans la question de l'environnement, il faut distinguer dans ses causes et dans ses conséquences, celles qui sont liées à l'agriculture et celles qui lui sont extérieures.

IV.2.2 Les causes de l'érosion

Plusieurs facteurs, d'ordres différents (naturels, sociaux, économiques, etc.), sont à l'origine de l'aggravation récente du phénomène d'érosion et peuvent être évoqués :

- La violence et l'irrégularité des pluies, le processus d'exploitation et la gestion des ressources naturelles trop peu préoccupés d'une durabilité des ressources, constituent les principaux facteurs de dégradation des sols ;
- L'adoption des techniques d'exploitations modernes, incompatibles avec la conservation des composantes de la fertilité, et dans l'ensemble mécanisées qui ont conduit en l'absence de restitutions suffisantes en matières organiques, à l'appauvrissement humique des sols (diminution de la fertilité) et à la dégradation de leur stabilité structurale ;
- L'évolution de la couverture végétale et les systèmes de production, due essentiellement à l'homme (facteur anthropique) et à son niveau de développement socio-économique, qui se traduit par des prélèvements de biomasse toujours croissants et des défrichements considérables et continus aboutissant à la mise en culture de terrains auparavant réservés aux parcours et de ce fait relativement résistants aux agressions hydriques ;
- L'augmentation de la taille des parcelles a surtout eu pour effet la suppression de toutes sortes d'aménagements ayant une fonction hydraulique (par exemple les fossés, les mares) ou de ruptures de pente freinant l'écoulement de l'eau et favorisant le dépôt des sédiments (par exemple les talus) ;
- Les extensions des surfaces labourées au détriment des surfaces toujours en herbe : une étude sur les déterminants des catastrophes liées au ruissellement des terres agricoles ;
- L'accroissement du drainage agricole dans les secteurs de sols lourds argileux s'accompagne d'une rectification, d'un approfondissement et d'un curage régulier dans les crues de plateau recueillant les eaux des collecteurs souterrains ;
- L'inadaptation du réseau hydraulique, dans bien des cas, aux nouveaux découpages parcellaires réalisés lors des remembrements. L'évacuation sans dommage de ruissellement qui se forme inévitablement n'a pas toujours été pensée, et ceci en partie parce que les processus de formation et de circulation du ruissellement dans les terres agricoles sont encore mal connus et loin d'être maîtrisés. Il n'existe pratiquement pas de références fiables sur les quantités de ruissellement à gérer et sur les conditions d'initiation des rigoles à l'échelle de bassins versants.

Toutefois, ces facteurs qui concernent directement l'activité agricole ne portent pas de loin la responsabilité entière de l'aggravation des dégâts qui lui sont imputés. Ce

serait oublier que bien des dégâts sont à mettre en relation avec les changements des modes d'occupation des sols et en particulier l'artificialisation des exutoires naturels par le développement urbain : la suppression des prairies dans les fonds inondables se fait bien souvent au profit de l'urbanisation, dans un contexte d'extension des communes.

IV.2.3 Les formes d'érosion

L'érosion se manifeste sous plusieurs aspects :

- L'érosion en nappe : elle se traduit par le décapage de la couche superficielle et par conséquent le départ des éléments fins (sable, limon et argile) vers l'aval et la perte de la productivité. Cette forme d'érosion est la plus dangereuse pour les terres agricoles. Bien qu'elle ne soit pas évidente, elle s'amplifie avec l'intensité des pluies, la raideur des pentes, le manque du couvert végétal et la vulnérabilité des sols ;
- L'érosion en griffes ou rigoles : cette forme d'érosion est rencontrée sur le terrain à pente faible où le ruissellement se concentre dans des petites rigoles peu encaissées. Elle se manifeste par le transport progressif de la couche arable et par conséquent une diminution de la productivité des terres ;
- L'érosion en ravines : elle se présente par des ravines profondes striant le versant et parallèles les unes aux autres ;
- Les sapements de berges : lors des crues épisodiques, les oueds affouillent la base de leurs berges qui s'éboulent du fait qu'elles soient mises au porte à faux. Ce sapement s'exerce sur toutes les rives concaves des sinuosités de l'oued et s'accompagne des dépôts de bancs latéraux sur les rives convexes de l'aval, formant ainsi des méandres ;
- Les mouvements de masse : ils se manifestent par le déplacement dans son ensemble d'une masse de sol. Ces mouvements s'effectuent sur les versants constitués de roches meubles ou alternativement meubles et résistantes. Ils sont dus à l'infiltration de l'eau qui imbibe le sol et le rend plastique tout en jouant le rôle de lubrifiant.

Toutefois, il faut signaler que l'importance de l'érosion ne réside pas dans les formes d'érosion, mais plutôt à travers l'activité et l'intensité de ses facteurs. Donc il faut déterminer l'activité de chaque facteur et les relations entre les différents facteurs dans le contexte de l'érosion de la zone étudiée.

IV.2.4 Les conséquences de l'érosion

Les dommages liés à l'érosion hydrique des sols peuvent être différenciés suivant l'échelle de temps et d'espace que l'on considère, suivant leur localisation, leur fréquence et leur coût.

IV.2.4.1 Les effets à court terme de l'érosion

*** Les effets internes de l'érosion¹⁰**

Les effets internes de l'érosion sont les dégâts situés dans les parcelles des cultures. Parmi celles-ci on trouve les arrachements de plants, la destruction de semis, le recouvrement de semis par les dépôts et les ravinements qui créent une gêne pour les opérations culturales, obligeant à travailler les parcelles par morceaux ; la gêne occasionnée concerne principalement les agriculteurs et peut se traduire par une augmentation du temps de travail et des coûts de production ;

*** Les effets externes de l'érosion**

Les effets externes¹¹ de l'érosion sont les dommages situés à l'extérieur du lieu d'ablation, généralement en aval, et infligés à d'autres activités que celle qui gère la parcelle érodée. Parmi celles-ci on peut noter :

- les dépôts, en aval, qui se produisent sur les chaussées, dans les habitations, les fossés, le réseau de collecte des eaux pluviales et les bassins d'orage, chargés d'assurer une protection rapprochée des communes en stockant au moins temporairement l'eau de ruissellement lors des orages violents et des crues ; dans certains cas, des ouvrages peuvent être détruits par le ravinement ou rendus inefficaces par le comblement ; ces dégâts, qui peuvent être spectaculaires, concernent au premier chef les collectivités locales et peuvent avoir un impact économique important ;
- La qualité des eaux peut également être affectée puisque l'érosion peut occasionner une augmentation de la turbidité des cours d'eau et même des nappes, d'où un certain nombre de conséquences : obligation de traiter les eaux si elles sont utilisées pour la consommation, ce qui était rarement le cas en milieu rural, perturbation des nappes-rivières et nuisances écologiques pour les systèmes aquatiques (absorption des rayons lumineux, diminution de photosynthèse et répercussion sur l'ensemble de la chaîne trophique).

Cet effet externe de l'érosion est de plus en plus pris en compte notamment dans les pays développés si l'on en croit les évaluations monétaires publiées à cinquante ans d'intervalle. La célèbre et souvent citée étude de H.H. Bennett (1939) avançait pour les Etats-Unis des dégâts en aval équivalents aux pertes subies par les agriculteurs. Cinquante ans plus tard, pour le même pays, on cite des coûts externes 1,5 à 9 fois (OCDE, 1989) et 3 à 26 fois (Juhasz, 1989) supérieurs aux coûts sur place ou aux

¹⁰ L'érosion considérée ici est celle induite par l'agriculture (les pratiques culturales, les techniques de productions, etc.).

¹¹ Le coût non agricole correspond au coût externe de l'érosion due à l'agriculture. Mais, il faut faire attention à la terminologie : on parle parfois de l'érosion externe pour le déplacement des particules en surface, par opposition à l'érosion interne correspondant au déplacement dans le sol même (Henensal P., 1986).

cultures (Thiébaud L., 1994).

Les évaluations sont donc très variables selon que l'on ne considère que les dégâts à d'autres activités économiques et aux infrastructures ou que l'on en inclut les détériorations des milieux naturels (de l'eau en particulier) qui peuvent avoir ou non des utilisateurs repérables, payants (alimentation en eau potable) ou non. Les statistiques de routes coupées par engrèvement, de barrage comblé, de fossés colmatés, sont plus faciles à collecter et à valoriser monétairement que celles sur la part de l'érosion dans la turbidité des rivières, dans les apports eutrophisants de phosphates, dans les apports toxiques de phytosanitaires. D'autant que les matières, même solides, apportées aux eaux superficielles par le ruissellement peuvent être dues à d'autres mécanismes que l'érosion comme le rinçage (selon la pente) des surfaces imperméables (parking, route...).

IV.2.4.2 Les effets à long terme de l'érosion

Les conséquences à long terme de l'érosion concernent essentiellement les ressources renouvelables à savoir l'eau et le sol :

- Les sols : leur épaisseur diminue dans les zones d'arrachement, mais augmente dans les zones de dépôts. L'ablation d'une tonne par hectare correspond à une diminution d'épaisseur de un à deux dixièmes de millimètre (Auzet A. V. et al, 1992). Avant la mise en culture, les premiers centimètres de sol sont les plus riches en matières organiques. Par ailleurs, lorsque l'érosion est diffuse, l'ablation est sélective et seuls les éléments les plus fins sont en général évacués. L'érosion se traduit ainsi par une perte de sol et une modification de ses qualités, une réduction systématique de la fertilité des terres agricoles et une diminution des rendements ;
- Les eaux : l'augmentation éventuelle de la fréquence de crues fortement chargées en matière en suspension (MES) peut affecter leur qualité ; de plus, le seul ruissellement sur les terres cultivées, par les matières qu'il entraîne, participe à la pollution par les nitrates et les métaux lourds contenus dans les produits phytosanitaires (Papy et Douyer, 1988).

Ainsi, l'importance de l'érosion peut aussi être évaluée à l'une des différents types de dégâts. Actuellement, ce sont les plus spectaculaires et les plus coûteux qui créent une sensibilisation des acteurs sociaux vis-à-vis de l'érosion. Moins médiatisées, mais non moins réelles, sont les préoccupations des producteurs d'eau qui doivent faire face aux gênes et surcoûts résultant du colmatage des filtres de leur stations par les MES et du traitement des eaux chargées en polluants. S'y ajoutent les

difficultés des gestionnaires de l'eau confrontés aux déséquilibres des écosystèmes aquatiques.

Cependant, bien que le problème de l'érosion soit jugé suffisamment important, les différents coûts n'ont jamais été évalués de manière globale ; les dégâts liés à l'érosion ne sont pratiquement jamais mentionnés dans les dossiers des calamités agricoles. Par contre, les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle font mention des dégâts subis dans les zones urbanisées : ces dossiers permettraient de recenser les localités où des problèmes se sont posés, leur caractère éventuellement répétitif, mais l'examen des dossiers montre qu'il est le plus souvent impossible de distinguer la part réellement attribuable à l'érosion elle-même.

IV.2.5 La conception de l'érosion en tant qu'externalité : une réflexion théorique

Le phénomène d'érosion¹² est considéré, par les économistes de l'environnement, comme une externalité négative par sa nature liée à la production agricole et peut faire l'objet d'une analyse économique standard. Ce phénomène lié à la production des biens agricoles est assimilé à une externalité technologique, privée, diffuse. Technologique dans la mesure où elle affecte directement les fonctions de production ou de satisfaction, privée vu qu'elle résulte de l'usage et de la production des biens privés, diffuse puisque les récepteurs et les émetteurs sont inidentifiables (la part de chaque émetteur est inconnue et les dégâts en aval concernent généralement de multiples agents économiques).

Cette considération trouve sa justification dans le fait qu'avec la production, l'agriculteur et/ou l'agriculture affecte, involontairement, l'utilité (le bien être ou le profit) des autres agents (actuels et futurs) par le phénomène d'érosion du sol, et conduit à une augmentation du coût social. En effet, la surexploitation des terres, l'extension des cultures avec raccourcissement des périodes de jachère non travaillée, la mise en culture de terrains auparavant réservés aux parcours¹³, l'adoption des techniques d'exploitations modernes pour augmenter la production incompatibles avec la conservation des composantes de la fertilité et dans

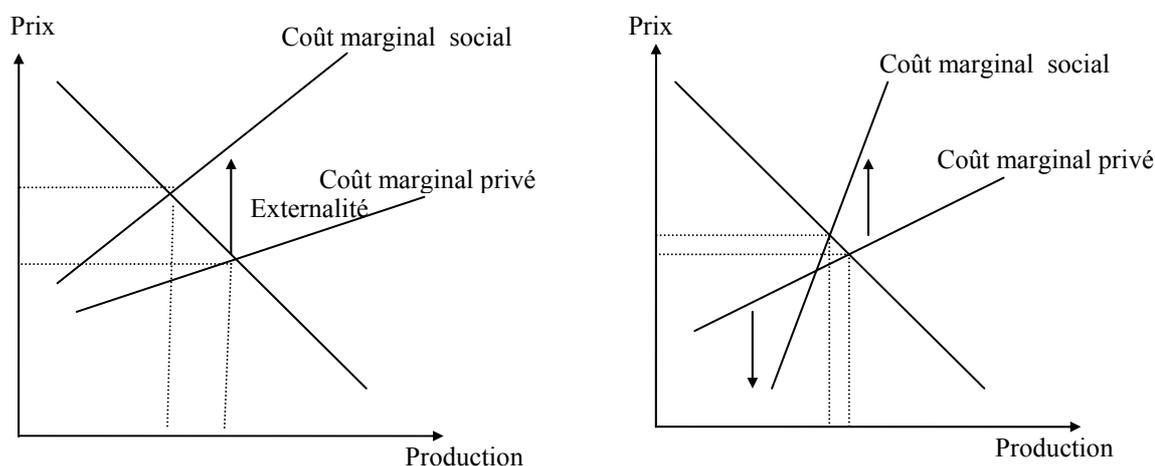
¹² L'érosion considérée ici est celle induite par les facteurs socio-économiques (les pratiques culturales, les techniques de productions, etc.). L'érosion induite par les facteurs naturels est considérée comme exogène. Elle suscite des comportements internalisés et fait l'objet de mesures palliatives comme la construction des banquettes, la consolidation des ouvrages, l'implantation des bandes enherbées, etc.

¹³ Certains agriculteurs considèrent que le pâturage des parcours par des animaux entraîne d'une part, une augmentation de la teneur en matière organique et donc de la fertilité et d'autre part, la compactation du sol et donc une érosion inférieure. La deuxième hypothèse n'a pas été justifiée par la recherche.

l'ensemble mécanisées conduisent, en l'absence de restitutions suffisantes en matières organiques, à l'appauvrissement humique des sols (diminution de la fertilité), à la dégradation de leur stabilité structurale et par conséquent à leur érosion. La recherche de la maximisation du revenu et de la satisfaction des besoins du marché fait naître, donc, une ignorance totale des conséquences de ce problème qui peuvent en résulter et conduisent à une augmentation du coût social.

Autres que les effets agricoles sur le sol et la parcelle de l'émetteur non comptabilisés dans le coût marginal privé, cette externalité englobe aussi les effets externes¹⁴ à la parcelle érodée à savoir le dépôt des particules en aval, pollution des eaux,... qui ne sont pas non plus valorisés et qui peuvent être aussi bien positifs que négatifs pour les récepteurs. La différence entre le coût marginal privé et social donne donc la valeur de cette externalité qu'il faut internaliser par le biais des instruments et des méthodes réglementaires et/ou économiques.

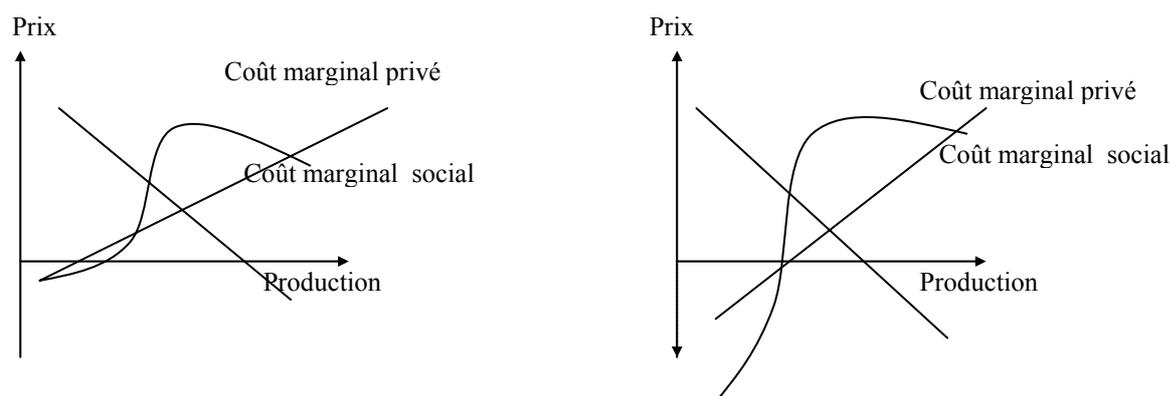
Pour reprendre une représentation suggestive proposée par Vermersch (1992) on peut la symboliser par le graphique suivant, susceptible d'être décliné de plusieurs manières selon la relation entre effets externes et volume de la production (notons que la différence entre coût marginal privé (cmp) et coût marginal social (cms) n'est pas seulement due à l'érosion : c'est la somme algébrique des externalités positives ou négatives. L'érosion est une externalité négative)



Cette conception de l'érosion en tant qu'une externalité linéaire avec la production se trouve, néanmoins, confrontée à un grand problème, d'ordre théorique, qui consiste en la mise en cause de la conception elle-même du fait que parfois, dans certaines zones, le niveau d'érosion pouvait diminuer avec une augmentation de la production.

¹⁴ Effets externes veut dire externe à la parcelle érodée et externe à l'échange. C'est-à-dire on tient compte uniquement des effets externes qui n'ont pas fait l'objet d'une transaction sur le marché pour être valorisés.

Cela se produit si l'on passe d'une rotation blé-jachère travaillée (typique en région semi-aride) à une rotation blé-orge ou blé-blé (Plevne, 1999). En effet, l'introduction de la jachère dans la rotation constitue une réserve d'eau assez importante, ce qui explique cette pratique, mais entraîne une perte de sol plus importante que lorsque celui-ci est cultivé puisqu'il reste nu tout au long de l'année. La production conduit, donc, dans ce cas à une diminution de l'érosion, du moins à court terme, puisque le sol est toujours occupé par une culture laquelle fixe bien le sol. De même, dans les parcours non pâturés, si on se base sur l'hypothèse avancée antérieurement par les agriculteurs, l'érosion est plus forte que lorsqu'ils sont pâturés car leur exploitation et leur pâturage entraînent l'augmentation de la fertilité et de la compactation du sol et donc une érosion inférieure. Ainsi, l'hypothèse de l'érosion en tant qu'externalité négative continue qui accompagne la production se trouve, à travers ces deux exemples, remise en cause (le passage d'une externalité marginale négative à une autre positive, sachant que l'externalité globale reste toujours négative, rend très difficile une telle internalisation)



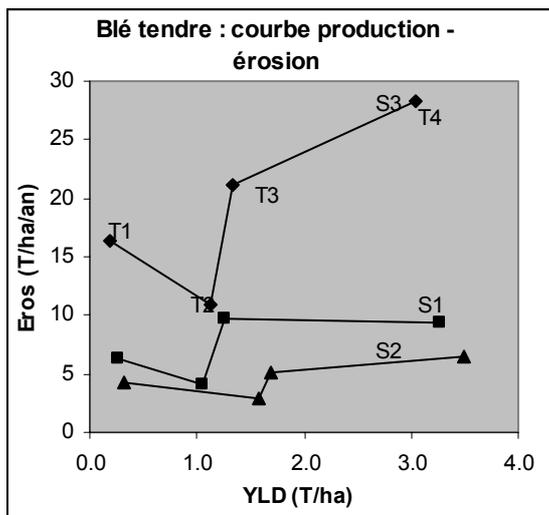
Aussi, et dans certains cas plus complexes, on peut remarquer, et ce n'est pas une exception, que le changement des techniques de production utilisées (sans qu'il s'agisse du progrès technique) avec un sens d'accroissement de la production se traduit par une diminution de l'externalité négative, pour augmenter ensuite et diminuer encore si la production s'accroît de nouveau (forme sinusoïdale). Tel est le cas de la pollution par les nitrates démontré par G. Flichman (2000) ainsi que l'érosion que nous développons dans l'exemple si dessous.

Pour illustrer ceci pratiquement, nous avons développé cet exemple appliqué à deux types de cultures (blé tendre et orge avec la jachère comme précédente culturale) implantés au niveau de trois sols différents (S1 : sol profond de 1.70m avec une texture sableuse, S2 : sol argilo-limoneux moyennement profond de 1.20m et S3 : sol peu profond de 0.80m avec une répartition inégale des réserves hydriques entre ses couches).

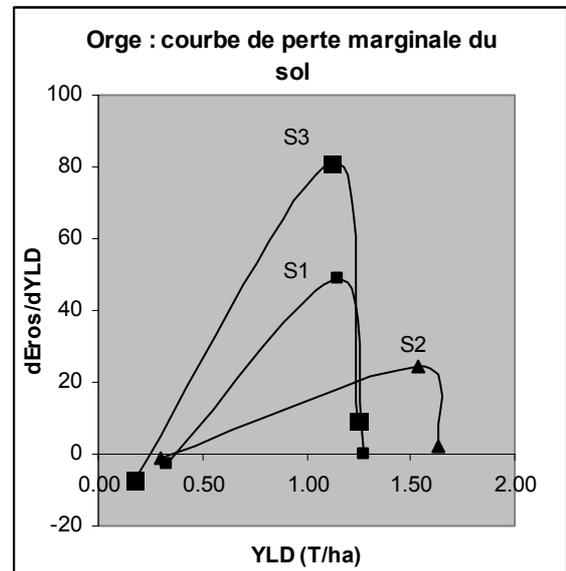
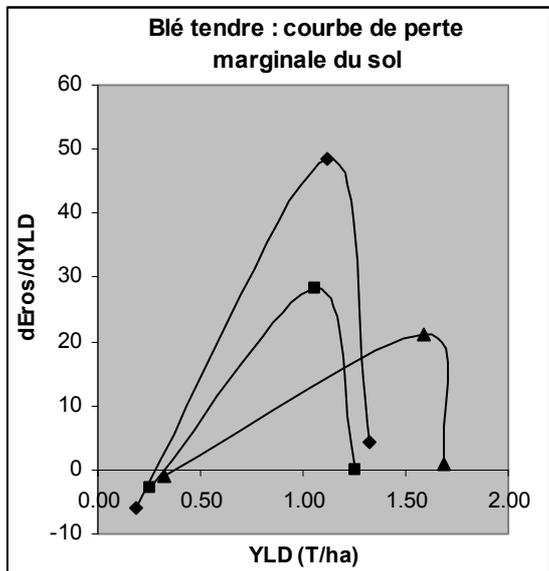
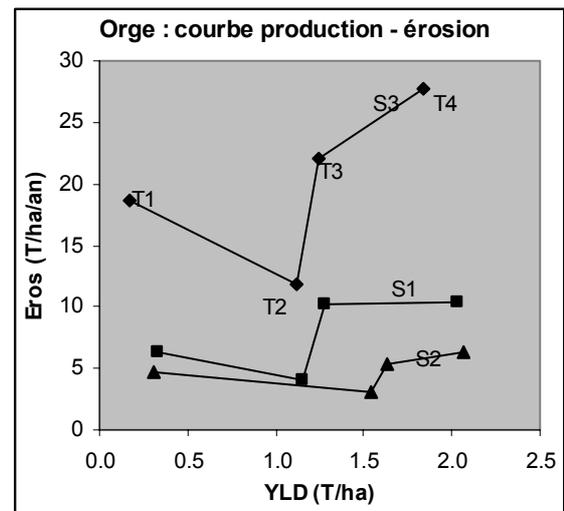
Dans cet exemple, nous avons testé, à l'aide du modèle biophysique EPICPHASE et pour une longue période (24 ans), l'impact de diverses techniques de production sur le rendement des

cultures et l'impact de ceux-ci sur l'érosion. Plusieurs alternatives technologiques ont été simulées pour les cultures du blé tendre et l'orge avec comme précédent cultural la jachère. Elles incluent différents types de gestion du sol combinés à divers niveaux d'emplois d'intrants : T1 : labour minimal de surface T2 : labour minimal de surface avec fertilisation T3 : labour profond avec fertilisation et T4 : labour profond avec fertilisation et avec irrigation. Dans les graphiques ci-dessous les différents niveaux de production et d'érosion pour chaque alternative technologique, pour chaque culture et dans chaque sol sont représentés.

Exemple 1 : blé tendre



Exemple 2 : Orge



Source : élaboration personnelle à partir d'EPICPHASE

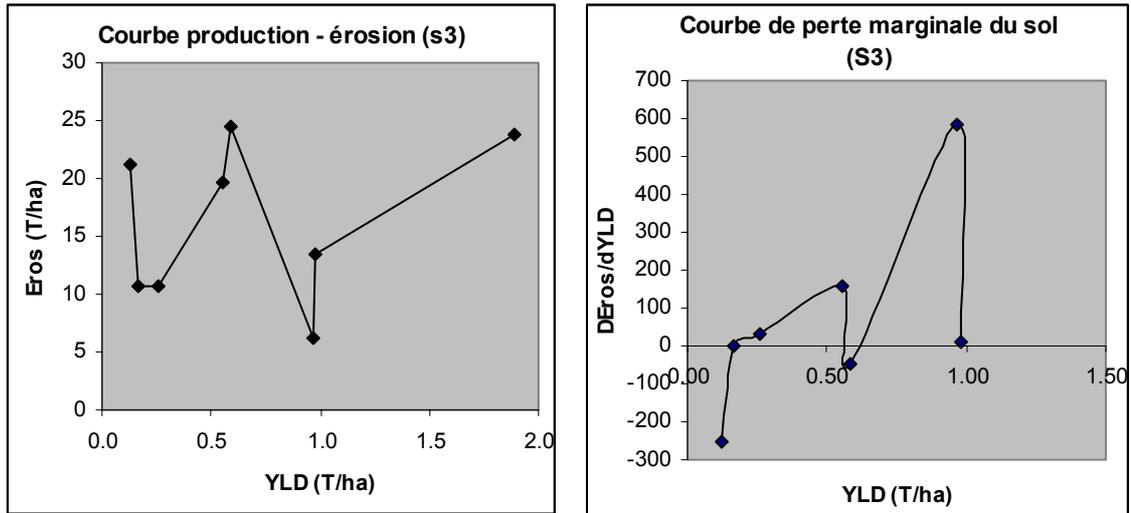
La forme de chaque courbe correspond, a priori, à celle que nous allons développer théoriquement dans la partie ultérieure. Cependant, il est nécessaire de faire quelques remarques qui expliquent les hypothèses posées dans le développement théorique.

En premier lieu et contrairement au cas classique où l'externalité est proportionnelle à la

production, la courbe production - érosion n'est pas convexe et suit la forme en « U ». Elle comprend deux phases successives : une première phase décroissante qui montre que l'érosion diminue avec la production. Une deuxième phase croissante dans laquelle la perte du sol augmente avec la l'intensification et ainsi avec la production, sans que cela implique un changement technologique.

En effet, le passage de la production avec une technique extensive de labour minimal (T1) qui libère un peu de fertilité et permet de maintenir le sol couvert de végétation pendant toute l'année à une technique extensive de labour minimal mais avec fertilisation (T2) conduit à une augmentation de la production et favorise un développement végétatif et racinaire de la plante qui va jouer un rôle protecteur pour le sol et réduit son érosion. Le passage de T2 à une technique intensive de labour plus poussé qui libère beaucoup de fertilité et avec fertilisation (T3), conduit à une augmentation du rendement mais aussi à un niveau d'érosion proportionnellement plus élevé. L'intérêt de travailler davantage un sol est de libérer plus de fertilité « potentielle », utilisable par les plantes, ce qui permet d'augmenter le rendement. Mais son désavantage réside dans le fait que le sol devient plus vulnérable à l'action des éléments et donc plus sensible à l'érosion. Enfin, l'introduction de l'irrigation dans un système très intensif (T4) entraîne une augmentation relative du rendement, comparée à l'augmentation de l'érosion et parfois même à une baisse de celle-ci.

Deuxièmement, les conséquences de la non-convexité ne sont pas seulement théoriques (nous sommes très loin de la présentation standard de l'économie de l'environnement), mais elles ont aussi des implications pratiques concernant les instruments pour internaliser les externalités. En effet, la détermination du niveau optimal de production, objet de l'analyse néoclassique, qui dépend du prix du produit et du coût de l'érosion, nous semble difficile à atteindre, inutile et injustifiable. De même, la détermination de la courbe du coût de l'érosion nécessite une valorisation monétaire de l'érosion, qui constitue à notre avis une chose arbitraire et artificielle et même si elle est estimée, le problème persistera toujours car la fixation du ou des niveaux optimaux ainsi que de ou des instruments à utiliser est assez délicate étant donné la présence des points d'inflexion. Ce caractère "sinueux" de la fonction de production d'externalités (fonctions avec un ou plusieurs points d'inflexion) peut être plus apparent dans le cas de la combinaison de plusieurs alternatives de production à des rotations culturales différentes. Tel est le cas par exemple de la l'application des quatre alternatives de production, avancées antérieurement, à la culture de blé dur avec deux différents précédents culturaux (jachère et orge).



Source : élaboration personnelle à partir d'EPICPHASE

Afin d'illustrer théoriquement, ce débat et légitimer la situation d'impasse face à laquelle peut se retrouver l'analyse néoclassique à l'encontre des problèmes d'externalité d'origine agricole, du moins celle de l'érosion, nous avons choisi un exemple d'une entreprise agricole qui produit un produit Y de prix P, à partir d'un facteur unique de production X qui sert de numéraire. En l'absence de toute incitation économique ou réglementaire, elle fixe son plan de production de façon à maximiser son profit donné par :

$$\Pi = PY - X$$

Sous la contrainte : $Y = \sqrt{X}$

L'optimum privé de production est donc obtenu en recherchant la valeur de Y, qui maximise $\Pi = PY - Y^2$

La production optimale est donnée par : $\frac{d\Pi}{dY} = \Pi_m = P - 2Y = 0$ (1)

où Π_m est donc le profit marginal d'où le niveau de production optimal : $Y_0 = P/2$.

Mais eu égard à la technologie mise en œuvre, on a une perte du sol liée au niveau de production que l'on peut qualifier par Q. Cette perte du sol multipliée par son coût unitaire (β) constitue un coût externe ($CE = \beta Q$) dont il faut tenir compte.

Toutefois, contrairement au cas classiques où le coût externe est proportionnel à la production, la courbe du coût retenue n'est pas convexe est suit une forme en « U ». Elle est caractérisée par deux phases successives : une première phase décroissante qui montre que l'érosion diminue avec la production tout en utilisant des techniques de production extensives. Une deuxième phase croissante dans laquelle la perte du sol augmente proportionnellement avec l'intensification, sans que cela

implique un changement technologique (on suppose que l'offre de technologie est connue et stable).

L'équation de ce coût externe peut être écrite sous la forme : $Q = \beta(aY^2 + bY + c)$ avec $a, c > 0$ et $b < 0$

L'introduction de ce coût externe dans le calcul du profit social nous donne l'équation suivante : $\Pi S = RT - CP - CE$

L'optimisation de ce profit nous donne : $\Pi S_m = R_m - CP_m - CE_m = 0$
 $R_m = CP_m + CE_m$

où R_m le revenu marginal, CP_m le coût privé marginal, CE_m le coût externe (ou dommage) marginal et ΠS_m le profit social marginal.

$$\Pi S = PY - Y - \beta(aY^2 + bY + c) \quad (2)$$

$$\Pi S_m = P - 2Y - 2a\beta Y - b\beta = P - 2(1 + a\beta)Y - b\beta = 0$$

$$\Rightarrow Y^* = (P - b\beta) / 2(1 + a\beta) \Rightarrow Y^* - Y_0 = -\beta(b + Pa) / 2(1 + a\beta) \quad a, \beta > 0$$

La résolution de cette équation nous donne deux ensembles de solutions complètement différentes qui sont : \Rightarrow

Cas 1 : $P \geq -b/a \Rightarrow Y^* - Y_0 \leq 0$
Cas 2 : $P < -b/a \Rightarrow Y^* - Y_0 > 0$

1) Cas n°1 : lorsque $P \geq -b/a$ (fig.1, cas n°1 : *externalité marginale négative*) la solution optimale sociale obtenue répond assez bien au besoin de l'analyse standard de l'économie de l'environnement et à la théorie de l'externalité car elle conduit à un niveau de production Y^* inférieur à celui obtenu par l'optimum privé Y_0 ($Y^* \leq Y_0$). En effet, lorsque la production est fixée à l'optimum privé Y_0 , le profit du producteur est représenté par l'aire OPY_0 , les gains externes par ORN et les coûts externes par NY_0K . Lorsqu'on se situe maintenant à l'optimum social Y^* , le profit du producteur est donné par $OPMY^*$, les gains externes par ORN et les coûts externes par NMY^* . La diminution de la production de Y_0 à Y^* entraîne une baisse du profit privé représentée par Y_0Y^*M . Cette diminution est compensée par la baisse des coûts externes représentée par Y_0Y^*MK . Le bilan global se traduit donc par un gain social donné par $M Y_0K$.

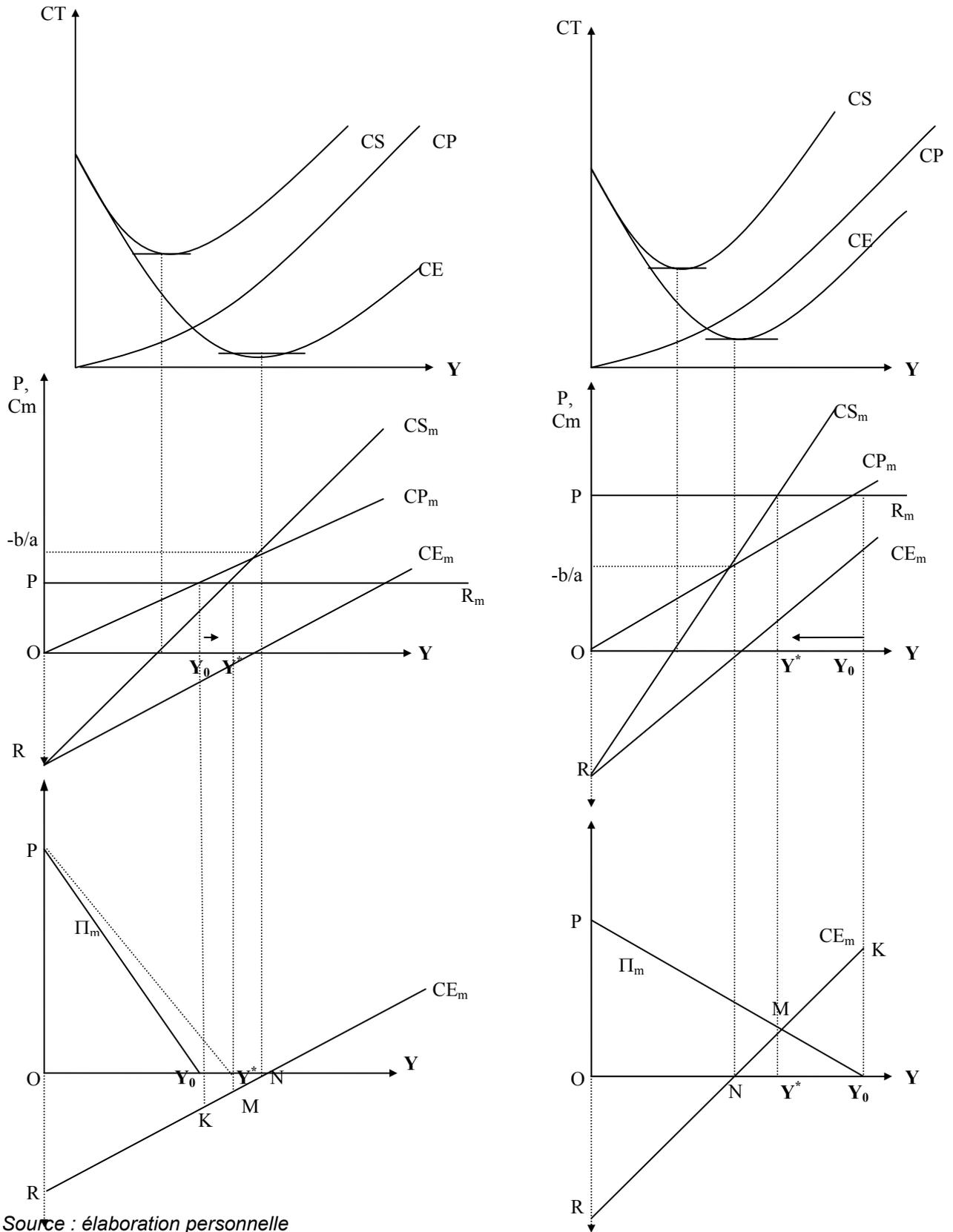
Le problème qui se pose, néanmoins, ici consiste à savoir comment peut-on atteindre l'optimum social et par le biais de quels instruments ? C'est-à-dire comment faut-il faire pour passer de Y_0 à Y^* ? Pour atteindre cet objectif les économistes ont proposé plusieurs instruments économiques et réglementaires à savoir les taxes, les subventions, les normes, les droits de propriété, etc. Ces instruments, malgré leur utilisation très répandue, restent tout de même défectueux pour des problèmes très complexes tels que celui de l'érosion du sol vue la difficulté, dans certains cas, de l'identification de l'émetteur et du récepteur de l'externalité, de la connaissance des

courbes de production, de pollution, voire de dépollution et, surtout de la valorisation de cette externalité aussi bien agricole (sol, parcelle) qu'extra-agricole (pollution des eaux, dépôt de sédiments, etc.) étant donné la multitude de ses composantes. A cela s'ajoute le problème de la multiplicité des équilibres qui peut exister dans certaines situations. En effet, dans le cas de l'érosion par exemple, il peut y avoir deux points d'équilibres Y^*1 , Y^*2 (fig2.). Ces points sont obtenus lorsqu'il y a un point d'inflexion dans la partie croissante de la courbe du coût externe induisant un changement de courbure (la courbe passe d'une forme convexe à une autre concave) correspondant à un phénomène de saturation qui apparaît lorsque l'augmentation de l'intensification et de la production entraîne une augmentation moins proportionnelle de l'érosion (les courbes du coût marginal externe et social décroissent). Le bilan global dans les deux points est identique et se traduit par un gain social donné par l'aire $M Y_0K$, néanmoins, la connaissance aussi bien de la manière que de l'instrument par lequel on peut les atteindre reste pratiquement contraignante.

Fig.1.3 Courbes des coûts et détermination du niveau optimal de production

Cas n°2 : Em^{15} positive

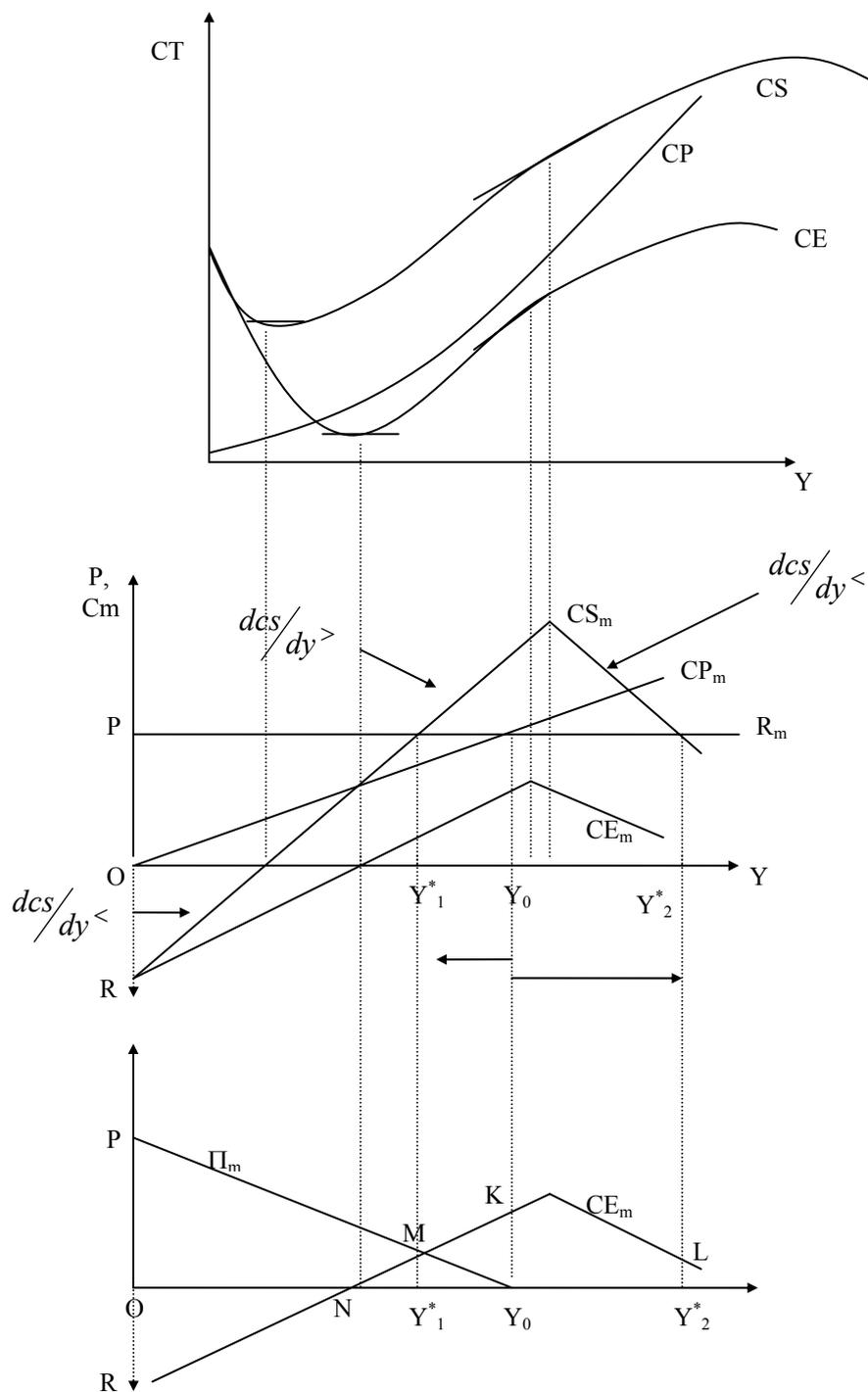
Cas n°1 : Em négative



Source : élaboration personnelle

¹⁵ Em : externalité marginale.

**Fig.1.4 Courbe des coûts et multiplicités des équilibres
(suite cas1 : E_m négative)**



Source : élaboration personnelle

2) Cas n° 2 : lorsque $P < -b/a$, (fig1., cas n°2 : externalité marginale positive) l'analyse néoclassique se trouve dans l'impasse car le niveau de production qui permet d'atteindre l'optimum social est supérieur au niveau de production qui conduit à l'optimum privé ($Y^* > Y_0$) et donc une augmentation de la production entraîne une augmentation du profit social et non pas sa diminution comme dans le premier cas. En effet, lorsque la production est fixée à l'optimum privé Y_0 , le profit du producteur est représenté par l'aire OPY_0 , les gains externes par OY_0KR et les coûts externes sont nuls. Lorsqu'on se situe maintenant à l'optimum social Y^* , le profit du producteur est donné par OPY^* , les gains externes par OY^*MR et les coûts externes sont toujours nuls. La recherche de l'optimum social induit, donc, une augmentation du profit du producteur par PY_0Y^* ainsi qu'un gain social de Y_0KYM .

Ce résultat obtenu remet en cause l'analyse néoclassique de l'environnement qui considère que n'importe quel problème d'environnement peut être résolu par le biais de la théorie de l'externalité et ceci en utilisant des instruments et des méthodes de l'analyse économique pour l'internaliser. En effet, pour un cas pareil assez complexe, les instruments économiques tous seuls restent très défaillants et ne peuvent en aucun cas, du moins à court terme, apporter des solutions étant donné qu'on sort complètement des hypothèses habituelles de convexité continue. Ceci peut être plus apparent lorsqu'on est en présence de plusieurs points d'équilibre (fig.3), c'est-à-dire dans le cas où l'érosion, en arrivant à un seuil d'intensification, commence à diminuer avec la production et donc la courbe du coût externe marginal décroît jusqu'à ce qu'elle croise la droite des abscisses (coût externe marginal négatif mais le coût social marginal peut ne pas l'être). Deux points d'équilibre peuvent ainsi paraître Y^*1 et Y^*2 dans lesquels l'augmentation de la production induit une augmentation simultanée du profit privé et de l'avantage collectif. Une telle augmentation met en cause la proposition habituelle qui considère la présence d'externalité comme phénomène empêchant le marché de conduire à un optimum de Pareto, c'est-à-dire à une situation dans laquelle le bien-être d'un agent ne peut augmenter sans que celui d'un autre diminue. Cela ressemble au fameux "reswitching"¹⁶ des techniques, étudié par les économistes de Cambridge dans les années 1950' et 1960'.

Dans le débat sur la théorie du capital, les économistes de l'école de Cambridge (UK) ont démontré la possibilité du retour des techniques (reswitching) : une technique rentable pour un taux d'intérêt donné peut devenir non rentable pour un taux supérieur pour ensuite redevenir rentable à un taux encore plus élevé. Ce

¹⁶ Kalecki (1943), Joan Robinson (1980), Sraffa (1960)

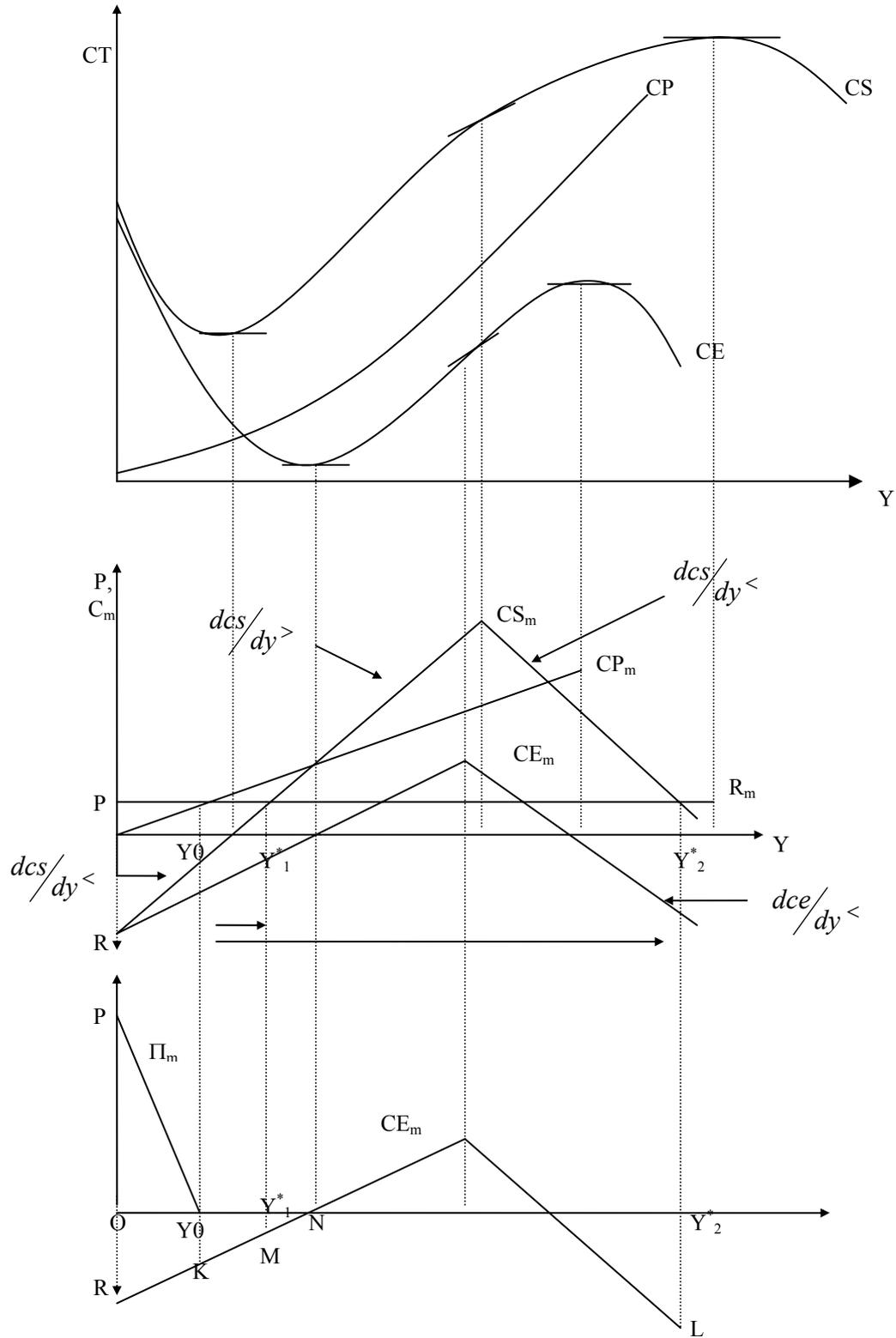
phénomène est similaire à celui que l'on trouve dans le cadre de l'analyse des externalités agricoles. Les économistes néoclassiques - Samuelson (1966) - ont accepté que théoriquement le phénomène de retour de techniques puisse exister si le capital n'est pas homogène, mais ils considèrent que de toute manière il s'agit seulement d'un phénomène exceptionnel. Ce qui est certain c'est que concernant les externalités négatives agricoles, ce phénomène n'est pas du tout exceptionnel et se rencontre souvent, sinon le plus souvent (Flichman G., 2000).

Ce raisonnement peut être valable pour plusieurs problèmes qui touchent la sphère biophysique et dans lesquels l'économie, sans la collaboration avec d'autres disciplines, peut se trouver dans l'impasse. Mais, comme l'indique Passet « ... ce n'est évidemment pas la spécificité de l'économie qui est en cause ici, mais la possibilité de considérer cette activité indépendamment de l'ensemble des relations humaines ou des phénomènes de la biosphère auxquels elle participe... ». Ce raisonnement nous rappelle la conclusion de Sraffa (cité par Benetti, 1974 et Flichman, 1997) d'après laquelle la répartition des revenus ne dépend pas d'une manière automatique des «lois inexorables de l'économie », mais elle est influencée par les rapports de forces existant dans la société rarement transitifs qui créent des discontinuités et des non convexités. Accepter donc les limites des hypothèses qui fondent les règles habituelles de l'économie dans l'analyse des rapports entre le biophysique et l'économie, relève d'une démarche compatible avec celle des économistes écologiques qui fait appel à une mobilisation pluridisciplinaire où chaque analyse prend sa place, le biophysique par la détermination des normes de régulation physiques et l'économie par le calcul du coût de différentes techniques proposées pour aboutir aux meilleurs choix possibles. En effet, comme l'indique R. Passet « si la sphère économique conçue au sens strict possède sa logique et ses finalités qui, à son niveau, fait de l'instrument monétaire un valorimètre, imparfait sans doute, mais un valorimètre qui, après correction, reste certainement irremplaçable, au niveau de la biosphère cet instrument monétaire ne nous est d'aucun secours... ».

A titre d'exemple et dans le cas de l'érosion l'utilisation d'un cahier de charges conditionnant les subventions au respect d'un code de bonnes pratiques (éco-conditionnalité) est un instrument qui peut s'avérer plus efficace¹⁷ surtout que le contrôle de ce cahier ne pose pas de difficultés majeures. Tel est le cas, par exemple, de la politique utilisée aux Etats-Unis et qui consiste, précisément, à imposer des cahiers de charges très stricts concernant les types de labours admis dans chaque région agricole et pour chaque culture.

¹⁷ Flichman (1995)

Fig.1.5 Courbe des coûts et multiplicités des équilibres (suite cas2 : externalité marginale positive)



Source : élaboration personnelle

Conclusion

L'interdépendance de l'agriculture et de l'environnement est en train de devenir plus manifeste au cours de la dernière décennie. Cette prise de conscience plus aiguë de la signification de l'environnement pour l'agriculture s'est manifestée en raison des inquiétudes grandissantes suscitées par les effets négatifs de certaines pratiques et politiques agricoles au détriment de l'environnement. Au nombre de ces effets négatifs mentionnons notamment la pollution des eaux souterraines et superficielles par l'infiltration et le ruissellement d'engrais et de pesticides azotés, l'érosion et le tassement des sols, pollution atmosphérique, etc. De la même façon, les politiques et les méthodes qui permettent un mauvais usage des ressources ont, elles aussi, des conséquences néfastes pour l'environnement : une utilisation intensive des techniques pour obtenir de meilleurs rendements, une augmentation des quantités de produits de agrochimiques utilisés, la perte de la diversité biologique.

Cette interdépendance se manifeste aussi par les effets positifs de l'agriculture et ceci à travers le rôle joué par cette dernière dans l'entretien et la gestion des espaces naturels indissociable de son rôle de production et qui a fait d'elle le gardien ou mieux encore le jardinier de la nature. En effet, les agriculteurs ont un rôle déterminant en renforçant cette relation par le jeu de leurs responsabilités qui sont de deux ordres complémentaires : en tant que producteurs de produits alimentaires et de fibres de qualité, et en tant que gardiens de la nature.

Pour analyser cette interdépendance d'extrême complexité, les économistes néoclassiques ont considéré l'agriculture comme n'importe quelle autre activité économique créatrice d'externalités négatives et positives qu'il convient d'analyser et d'évaluer par le biais des instruments économiques afin de les optimiser dans un contexte simultané de recherche de l'avantage collectif et d'économie politique (au sens strict), en supposant des comportements rationnels et des fonctions techniques de production "*well behaved*".

Toutefois, comme nous l'avons déjà montré à travers l'exemple de l'érosion, en agriculture et contrairement à d'autres domaines, les fonctions d'externalités ne sont pas toujours convexes (et même rarement) du fait de la nature fondamentalement biologique et de ce fait très dépendante de facteurs non maîtrisable de l'agriculture. Autrement dit, le changement des techniques de production utilisées (sans qu'il s'agisse du progrès technique) avec un sens d'accroissement de la production se traduit par une diminution de l'externalité négative, pour augmenter ensuite et diminuer encore si la production s'accroît de nouveau (fonctions sinusoïdales avec

un ou plusieurs points d'inflexion). Les conséquences de la non-convexité ne sont pas seulement théoriques (nous sommes très loin de la présentation standard de l'économie de l'environnement), mais elles ont aussi des implications pratiques concernant les instruments pour internaliser les externalités. Ce raisonnement peut être valable pour plusieurs problèmes qui touchent la sphère biophysique, à savoir par exemple la pollution par les nitrates démontrée par G. Flichman (2000), et dans lesquels l'économie, sans la collaboration avec d'autres disciplines, peut se trouver dans l'impasse.

CHAPITRE 3 : MODELISATION BIO-ECONOMIQUE : LE SUPPORT METHODOLOGIQUE

Introduction

Depuis quelques années, l'application de la science économique en particulier dans le domaine de l'environnement a changé, à la fois, de perspective et de méthode. Le changement de perspective se traduit par un intérêt de plus en plus marqué pour l'analyse micro-économique du comportement des agents. Cette approche permet d'analyser en détail les réactions des agents à des changements de politiques économiques et environnementales et ainsi d'être mieux à même d'évaluer l'impact des différentes politiques envisageables. En effet, le développement des recherches dans ce domaine a permis de mettre en évidence le fait qu'en cas d'absence ou de dysfonctionnement de certains marchés, situations fréquemment rencontrées dans les pays en voie de développement, le comportement des agents pouvait être très différent de celui décrit par la théorie néoclassique traditionnelle.

Du point de vue de la méthode, le changement est moins radical puisqu'il prend simplement la forme d'une généralisation de l'utilisation des méthodes quantitatives. Ces méthodes, en situation d'incertitude et en information imparfaite, dont le développement s'est accéléré dans la dernière décennie en particulier dans les PVD, s'adaptent parfaitement et leur usage est maintenant très largement répandu (Sotte F., 1996).

Ce changement aussi bien de perspective que de méthode vise essentiellement la recherche des moyens et des modalités économiques concrets et quantifiables capables de répondre aux préoccupations actuelles de la prévention environnementale.

La prévention antiérosive à laquelle nous nous intéressons dans ce travail, constitue une composante principale de ces préoccupations environnementales globales. La recherche des modalités économiques d'une intervention préventive dans ce domaine nous a conduit, dans le présent chapitre, à rechercher, dans la science économique, une démarche capable d'une part d'analyser les rapports de conflit et de complémentarité entre les techniques de production, la politique agricole et le problème de l'érosion du sol et, d'autre part, de déterminer et de quantifier le compromis entre la rentabilité économique et l'efficacité antiérosive de différentes interventions politiques.

Cette démarche devrait s'aligner sur ce changement en terme de perspective tout en essayant de le transmettre à un niveau plus agrégé de type "méso-économique". En effet, l'échelle micro-économique bien qu'elle constitue, actuellement, le cadre préféré des économistes de l'environnement, reste toujours en deçà des nécessités de la mise en œuvre des politiques publiques. L'activité de l'exploitation s'insère dans un environnement, devenu très complexe dans les économies développées, capitalistes et socialistes, sur lequel elle a plus ou moins la possibilité d'intervenir. En revanche, l'environnement économique de l'exploitation peut être, selon sa taille, considéré comme une donnée ou être susceptible de se modifier sous l'effet de ses actions. Sans réellement aborder le domaine des politiques publiques, nous souhaitons cependant pousser l'analyse micro-économique jusqu'à ce niveau.

I. Le choix du support méthodologique

Notre recherche s'inscrit dans une perspective d'analyse des rapports de conflit et de complémentarité entre les techniques de production, la politique agricole et certains problèmes concernant l'environnement et les ressources naturelles à savoir l'érosion de sols. Il nécessite, par conséquent, d'employer les outils de modélisation les plus adéquats à ce propos.

Toutefois, avant de se lancer dans le choix de la méthodologie adéquate, nous nous proposons de creuser la littérature socio-économique sur l'érosion afin d'avancer un aperçu sur les travaux menés sur ce phénomène ainsi que les différentes méthodes appliquées.

Bien qu'il soit impossible de présenter l'ensemble des travaux, ceux qui sont fournis par Elyakime et Bruno (2000) nous semblent suffisants pour avancer un tel éclaircissement. Alors que Auzet et al (1992) comme Cartier (1997) décrivent et analysent ce phénomène, certains auteurs sont allés plus loin pour centrer leurs analyses sur les dégâts sur site agricole. Parmi ces derniers on trouve Carcamo et al (1994) qui recherchent les meilleures actions antiérosives d'un agriculteur à partir de la programmation linéaire, Goetz (1997) qui s'appuie sur un modèle non linéaire dynamique dans le même but, Palmquist et Danielson (1989) qui analysent l'effet de l'érosion sur la valeur de la terre au USA... D'autres, comme Fox et al (1995) qui font une analyse coût-avantage d'actions antiérosives au Canada, partent pour l'analyse des dégâts érosifs en dehors des sites agricoles. Certains travaux fournissent des références sur les différentes politiques publiques utilisées afin de limiter l'érosion de terres agricoles. Ainsi, Klonsky et Jacquet (1997) comparent les mécanismes

d'incitation de conservation des ressources naturelles françaises et nord américaines. Govindasamy et Huffman (1993) étudient l'efficacité économique du programme de mise en réserve de terres fortement érodées nord-américaines. Hunter et Keller (1983) comme Hildebrand et Ashraf (1989) ont analysé plusieurs systèmes de cultures alternatifs destinés à réduire l'érosion dans les exploitations agricoles du Tennessee. Barbier E. W. (1988) a élaboré un modèle multipériodique qui permet de mesurer l'intérêt pour les paysans de l'île de Java de lutter contre l'érosion. D'autres comme Vicien (1989), Deybe (1994), Gretton et U. Salma (1997), Barbier et Bergeron (1999) ont fait des études (empiriques et/ou mécaniques) sur la dégradation de terre en Argentine, France, Burkina Faso, l'Australie et l'Honduras, à partir d'une modélisation bio-économique du processus de dégradation, afin de discuter de différentes politiques préventives et curatives possibles.

Bien qu'il n'y est pas de contenu commun à l'ensemble de ces travaux, la plupart d'entre eux sont basés sur des méthodes quantitatives. Ces méthodes qui sont soit basées sur des fonctions de production économétrique traditionnelles, soit basées sur les fonctions de production d'ingénieur de type modélisation bio-économique, seront examinées dans la présente section, afin de déterminer d'une part, leurs forces et leurs faiblesses et d'autre part, la méthode à utiliser dans le présent travail et les raisons de son choix.

1.1 Les méthodes basées sur les fonctions de production traditionnelles

Dans la perspective traditionnelle des instruments de l'économie de l'environnement, l'analyse des rapports agriculture-environnement, consistait à évaluer les externalités négatives et positives résultant des modifications des pratiques culturales et des mesures préconisées. Une telle analyse fera appel à des méthodes habituelles de la science économique qui reposent généralement sur l'échantillonnage pour déterminer les paramètres d'une fonction de production dont la forme est définie à l'avance. Les formes analytiques les plus couramment utilisées sont la fonction Cobb Douglas (élasticité de substitution égale à 1), la CES (élasticité de substitution constante) ou la Translog (combinaisons variant de la substituabilité totale à la complémentarité totale).

Cette démarche, basée sur l'emploi conjugué de l'inférence statistique et de la forme analytique prédéterminée, est vue comme un système de relation entre des variables qui, certaines, sont aléatoires et dont il s'agit de préciser à la lumière d'observations. Toutefois, l'utilisation de ces méthodes se serait heurtée à quelques problèmes à savoir :

- ❶ La construction de fonction de production suivant les formes mathématiques les plus "confortables" dans le secteur agricole ou des phénomènes biologiques agronomique et écologique interviennent fortement sur l'économie des choix techniques, est loin d'être facile, tout en étant peu satisfaisante
- ❷ Le nombre limité d'observations dans l'échantillonnage et leur caractère aléatoire peut empêcher l'estimation des paramètres de fonction de production surtout dans le cas de certaines formes analytiques. En effet, les essais expérimentaux restent toujours très réducteurs pour estimer ces paramètres.
- ❸ En faisant appel à l'inférence statistique, on oblige le modélisateur à synthétiser l'information pour ne pas être contraint par le nombre de degrés de liberté du modèle, or ces agrégations supposent que l'on connaisse les fonctions de productions sous-jacentes permettant d'obtenir les optima techniques.
- ❹ Faire la prévision pour le futur en utilisant des fonctions de production obtenues à partir d'une "trituration" statistique de séries chronologiques pose de graves problèmes. En effet, les rapports inputs/output obtenus avec les données du passé, ne pourront jamais nous permettre d'établir de bonnes prévisions pour le futur, surtout si les prix relatifs entre inputs, et/ou inputs et produits changent considérablement (Flichman G., 1997).

La présence de ces problèmes nous a conduit à choisir une autre méthodologie plus originale basée sur l'utilisation d'une fonction de production "d'ingénieur" obtenue à partir des modèles biophysiques désormais bien adaptés pour aborder notre travail. Cette méthodologie qui appartient à la catégorie des modélisations bio-économiques¹⁸, est fondée sur le couplage d'un modèle biophysique et d'un modèle économique.

1.2 Les méthodes basées sur la fonction de production d'ingénieur

Comme nous l'avons déjà signalé, la démarche classique qui repose généralement sur l'utilisation des fonctions de production traditionnelles issues de la convergence de l'inférence statistique et de la théorie économique de type néoclassique présentent certaines limites pour traiter les rapports agriculture-environnement, ce qui, nous a conduit à développer une deuxième méthodologie basée sur la construction des fonctions de production "d'ingénieur", en utilisant des informations

¹⁸ Il y a d'autres types de modèles bio-économiques, en particulier en foresterie et en pêche où elles sont plus courantes et connues (c'est le plus souvent à celles là qu'on pense avec ce terme)

sur les coefficients techniques fournies par le savoir des agronomes.

La démarche bio-économique, qui est la notre, fondée sur le couplage d'un modèle biophysique et d'un modèle économique, fait partie de ce type de méthodologie. Elle consiste à utiliser un modèle biophysique capable de construire des fonctions de production "d'ingénieur", en simulant les rendements, l'érosion du sol, la production d'émissions polluantes par l'emploi d'une grande diversité de techniques et sous différentes conditions climatiques et pédologiques. Les informations ainsi obtenues par le modèle biophysique seront intégrées, par la suite, dans un modèle économique.

Les modèles de simulation biophysiques sont des modèles purement agronomiques capables d'établir les rapports inputs-outputs en ce qui concerne la production végétale. Ce sont des modèles de simulation de croissance des plantes, en rapport avec l'état du sol, le mouvement de l'eau et les interventions humaines (labours, fertilisation, irrigation, etc.) (Boussemart J. PH. et al 1994). Les principaux d'entre eux et les plus connus sont :

Les modèles sont établis par les agronomes après de très longues observations, sous forme de base de données autour de grandes fonctions bio-géochimiques. Il est nécessaire de spécifier l'ensemble des données bio-géophysiques et climatiques du système étudié (parcelles, exploitations), afin d'obtenir simultanément les rendements du système et l'ensemble des effets joints sur le milieu

Cette méthodologie bio-économique présente l'avantage de ne pas bâtir ses résultats sur une extrapolation du passé, base de la plupart des analyses de gestion et modèles économétriques traditionnels, ni sur des essais expérimentaux, toujours très réducteurs par le nombre d'alternatives testé.

Cependant, cette méthodologie présente certains problèmes qui doivent être surmontés à savoir :

- ❶ La nécessité d'une très grande quantité d'informations et d'un nombre important de paramètres : pour une simulation fine de la réalité, une importante collecte de données agronomiques est nécessaire, qui permettra par la suite de caler et valider les modèles agronomiques ;
- ❷ Le caractère très spécifique des études envisagées : la modélisation se fait au niveau des parcelles, qui, même si elles sont représentatives, ne constituent qu'un cas particulier. Cette spécificité devient encore plus forte si des caractéristiques environnementales sont étudiées.

Bien qu'elle soulève ces problèmes, la modélisation bio-économique nous paraît méthodologiquement la mieux adaptée pour évaluer les rapports agriculture-environnement ainsi que pour quantifier les "trades-offs" entre la rentabilité économique et l'efficacité environnementale, spécialement lorsqu'on dispose d'une certaine éducation en agronomie

Avant de donner très brièvement les principaux éléments de cette démarche, nous voudrions en évoquer rapidement le positionnement théorique.

II. Positionnement théorique de la modélisation bio-économique

Le développement des modèles biophysique, leur couplage avec des modèles socio-économiques apparaît être un champ d'investigation prometteur pour rapprocher agro-écologie et agro-économie et delà pour impliquer un positionnement clair dans le courant de **l'économie écologique** avec l'utilisation -dans un contexte limité- des concepts de la démarche néoclassique orthodoxe des économistes de l'environnement. Ce positionnement peut être justifié par les trois spécificités suivantes :

Premièrement, la modélisation bio-économique dans la mesure où elle permet de tenir compte à la fois des aspects économiques et écologiques de la production agricole, peut être inscrite dans les démarches récentes de l'approche d'économie écologique qui privilégie le travail pluridisciplinaire. *"L'introduction de modèles bio-économiques dans les programmes de recherche renforce les exigences de multidisciplinarité"* (Swanson, 1979). L'utilisation d'une approche pluridisciplinaire en agriculture, est devenue aujourd'hui une nécessité, sans précédente, alliant l'économie d'une part, avec les sciences de la vie (écologie, biophysique, agronomie en particulier) afin de mieux connaître les impacts des pratiques agricoles sur l'environnement et, ce qui est essentiel, afin de rechercher et de développer de nouveaux itinéraires techniques prenant explicitement en compte les objectifs d'environnement et d'autre part, avec les sciences sociales et politiques, afin de développer de nouvelles structures de négociation, entre agriculteurs et sociétés, portant sur les offres et les demandes liées aux qualités de l'environnement. *"Comprendre les liens entre les systèmes écologique et économique en les considérant de manière intégrée est d'une importance critique pour la soutenabilité"* (Costanza, cité par Flichman G., 1997).

Deuxièmement, la fonction de production d'ingénieur obtenue par le modèle

biophysique est exprimée en terme agronomique et, de ce fait n'introduit pas l'extrême latitude de substitution des fonctions de production économiques habituelles. Contrairement aux économistes néo-classiques, tenant de la soutenabilité faible, postulant le maintien d'un stock global de capital et la substituabilité illimitée entre les deux formes de capitaux, les tenants de l'approche d'Economie écologique prennent en compte la dépendance des systèmes économiques vis-à-vis de leur environnement et refusent l'hypothèse de substituabilité illimitée pour adopter une substituabilité limitée ou même la complémentarité des deux formes de capitaux.

Troisièmement, l'intégration d'une modélisation biophysique comme composante de modèles économiques est favorable à la création de programmes de recherche appliquée, efficaces dans le secteur ou des phénomènes biologiques interviennent fortement sur l'économie des choix techniques. Il n'est plus possible d'affirmer avec autant de facilité que les résultats obtenus sont incertains pour des raisons techniques ou économiques exogènes aux programmes de recherche et aux disciplines. La mise en pratique de la modélisation bio-économique est un moyen de structurer la recherche agronomique et plus généralement la recherche appliquée.

Quatrièmement, - et peut être surtout- la modélisation bio-économique permet d'obtenir les principaux résultats économiques, en termes de rendements, et écologiques, en termes de conséquences bio-géo-physiques (érosion, pertes en nitrates ou phytosanitaires etc...) de l'activité agricole en échappant au hasard d'une évaluation monétarisée de ces "sous-produits" non désirés. C'est un avantage considérable que de pouvoir ainsi pousser l'analyse aussi loin que possible avant de recourir à la monétarisation comme le souligne J.M.Boisson (1984). Le principal reproche fait par les économistes écologiques porte en effet comme on l'a vu, sur la réduction à des évaluations financières assez simplistes l'ensemble des relations extrêmement complexes de l'homme avec son environnement naturel, de plus comme le souligne G. Flichman (1997) *"Diminuer le processus de désertification provoqué par les pratiques agricoles érosives est un objectif qui peut être justifié sans évaluation économique précise"*

Cependant, notre modélisation économique habituelle emprunte beaucoup à la praxéologie, mais en la soumettant à une ouverture pluridisciplinaire et en refusant systématiquement, du moins au départ, ses approches normatives. En effet, le problème économique représenté par cette modélisation obéit, dans la plupart des cas, à la problématique habituelle de maximisation sous contraintes empruntée à la

démarche néoclassique mais en l'utilisant à partir d'une perspective d'analyse positive. Il ne s'agit pas donc de viser un *optimum de premier rang*, objectif de l'approche normative, *inaccessible*, mais *d'agir au mieux*, compte tenu des informations disponibles, mais en supposant, naturellement que les agents économiques (les producteurs) évitent les gaspillages.

III. La modélisation bio-économique comme outil d'analyse : aperçu général

Avant de nous pencher sur les aspects spécifiques de la démarche retenue dans le présent travail, nous effectuerons quelques considérations sur l'origine de l'utilisation des modèles bio-économiques et leur importance dans l'analyse des problèmes des activités économiques.

III.1 Définition et origine

Les modèles économiques en usage dans les années 60 se sont avérés insuffisants pour apprécier l'efficacité des investissements dans deux secteurs cruciaux en agriculture : l'irrigation et l'équipement. Ils ne rendaient pas compte de la forte influence que les facteurs biologiques et climatologiques ont sur le comportement des cultures irriguées ou récoltées mécaniquement. A ces modèles, ont été ajoutées des composantes de modélisation biophysique concernant la réponse des cultures à l'eau (Anderson, 1968 ; Flin, 1971) ou le comportement des plantes lors des périodes de récolte mécanique (Donaldson, 1968). Un nouveau type de modèle a vu le jour, désigné par le terme, aujourd'hui consacré, de modèle bio-économique (Csaki, 1985), par comparaison avec ce qui avait été développé auparavant dans les domaines de la pêche et de la foresterie.

Cette désignation n'est pas à confondre avec d'autres significations différentes que le terme bio-économie peut recouvrir à propos de l'économie associée à la sociobiologie (Hirsheiler, 1977) ou de la prise en compte de principes inspirés de la thermodynamique (Gergescu-Roegen, 1978).

Le terme de modèle bio-économique s'applique de façon usuelle depuis les années 70 à une idée simple à formuler, valable bien au-delà des questions agricoles : intégrer une composante de modélisation biologique à des modèles économiques lorsque les choix techniques sont fortement soumis à l'influence de facteurs biologiques, ce qui permet de mieux rendre compte des décisions techniques (Bigot Y., 1996).

III.2 La modélisation bio-économique en agriculture : aperçu historique

L'utilisation des modèles bio-économiques à des fins agricoles a été amorcée dans les années 70. Elle n'a pas connu depuis, la même progression qu'en gestion. Les premiers modèles bio-économiques en agriculture ont été construits par des économistes agricoles soucieux de théories économiques se référant à un objectif d'optimisation au niveau des entreprises et de l'économie générale. Depuis, l'application de cette idée s'est rapidement étendue à d'autres domaines où les aspects techniques sont importants dans les décisions de dépenses ou d'investissements. Les premières applications en matière d'élevages datent au moins de 1975 (Charlton et Street, 1975), de 1979 pour le contrôle des prédateurs (Reichelderfer et Bender, 1979), de 1983 pour le contrôle des mauvaises herbes (Marra et Carlson, 1983), de 1984 pour le problème d'érosion (l'ASDA-ARS de Temple (USA), 1984) et de 1988 pour les questions de fertilisation et l'évolution des sols et de pollution des nappes (Wit et al., 1988). La construction de modèles bio-économiques par culture et par type d'élevage est devenue courante dans les pays développés.

Les cas d'application aux ressources naturelles et aux questions d'environnement liées aux activités économiques à savoir l'agriculture se sont développés très rapidement au cours de ces dernières années en particulier dans les pays du tiers-monde. Ils ont accentué la tendance à une modélisation mixte à la fois biophysique et socio-économique. Les principaux travaux qui ont été élaborés dans ce domaine sont ceux de Lonergan (1981), Magrath et Arens (1989), Vicien (1989), Deybe (1989), Nijkamps et al (1990), Stockle et Deybe (1992), Flichman et al (1993), ainsi que d'autres récemment réalisés au sein de notre groupe de recherche, sous la direction de Guillermo Flichman, à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

Toutefois, il faut signaler que, les changements législatifs et politiques ont joué et jouent toujours un rôle décisif dans l'apparition de demandes de modélisation bio-économique dans ce secteur agricole étant donné l'émergence des nouveaux problèmes (pollution, jachères, qualités des produits, renouvellement des aides et subventions éventuelles).

III.3 Les diversifications de la modélisation bio-économique

La modélisation bio-économique peut se faire sans attacher un intérêt trop dogmatique aux théories. Elle s'applique aussi bien au perfectionnement de l'approche "standard" qu'à d'autres approches en gestion des exploitations. Bigot distingue cinq catégories de modélisation bio-économiques à objectifs différents à

partir des distinctions faites dans une synthèse réalisée en 1993 sur des modèles concernant les cultures annuelles (King et al., 1993).

* La modélisation qui poursuit des objectifs théoriques en économie ou dans d'autres disciplines. Des résultats aussi généraux que possibles sont attendus. Ce type de modélisation, qui est le nôtre, est actuellement surtout présent dans le domaine de l'environnement et des ressources naturelles. Cette modélisation a commencé à s'étendre à des ambitions plus vastes, celles des modèles où écologie et économie s'entremêlent. Les résultats obtenus sont pour l'instant moins opérationnels qu'en gestion agricole. Dans ce type de modélisation, la composante biophysique des modèles bio-économiques est destinée à une meilleure formulation de contraintes ou des résultats qui sont ensuite pris en compte par une programmation conforme à un objectif d'optimisation. Cette modélisation s'est poursuivie et demeure très fréquemment mise en œuvre. Elle reste parfaitement opérationnelle lorsque le principe d'optimisation est pertinent et le modèle biophysique de qualité suffisante.

* La modélisation bio-économique ayant pour objectif la construction des programmes de recherche appliquée sur un thème multidisciplinaire particulier. Elle peut contribuer à la mise en forme des connaissances de diverses origines. Cette modélisation peut être passive, laissant les disciplines organiser la collecte d'informations en fonction de leurs préoccupations, comme elle peut être active, s'efforçant de prévoir puis de tester, selon les résultats obtenus, l'intérêt d'investissements complémentaires en discipline, personnels, équipements, terrains, moyens divers à caractères plus ou moins temporaires.

* La modélisation qui vise à développer des instruments permettant de traiter des questions qui se posent de façon régulière. L'objectif n'est plus spécifique à un domaine d'application particulier, mais concerne des sujets comme la manière de traiter de l'influence du climat, des risques ou de la variabilité spatiale.

* La modélisation ayant comme objectif de s'intéresser en priorité à l'évaluation des conséquences de nouvelles techniques ou de nouvelles politiques. Une influence particulière de l'économie peut exister. Il est toutefois préférable que cette influence ne soit pas mise en œuvre de façon trop exclusive et indépendante, à partir d'informations techniques décousues. Il est souhaitable que soit assurée une continuité entre activités de modélisation à objectifs théoriques et disciplinaires tout d'abord, à objectifs de programme multidisciplinaire ensuite, puis de techniques de modélisation relatives à des points spécifiques et d'évaluation. Ceci permet de réaliser les activités d'évaluation dans de meilleures conditions tout en apportant des

ressources aux organisations de recherche sur le marché des évaluations de natures diverses.

* La modélisation qui poursuit des objectifs de gestion individuelle ou fortement décentralisée. Ce secteur est l'objet de la demande la plus importante en pays développés par rapport aux autres objectifs envisagés jusqu'ici.

III.4 La modélisation bio-économique : justification d'une demande croissante

De plus en plus, les problématiques traitées par la recherche agronomique imposent l'intégration de travaux d'agronomes "biophysiciens" et d'économistes, et cela d'autant plus que cette recherche se veut appliquée. C'est le cas, par exemple, lorsqu'on souhaite évaluer l'impact de changements politiques économiques (réforme de la PAC, dévaluation du dinars, ajustement structurel...), de changements climatiques, voire de la croissance démographique sur les revenus des agricultures et sur l'évolution à long terme des ressources naturelles (Boussemart et al., 1995; Barbier, 1995; Cretenet, 1995; Deybe, 1995). C'est le cas également lorsqu'on veut améliorer la gestion d'une ressource naturelle commune à de nombreux agents et devenant, par sa rareté ou la modification de ses qualités, l'enjeu d'appropriation voire de conflits (Bousquet, 1995).

Dans tous ces cas, on fait appel à la modélisation, décrite comme outil d'intégration disciplinaire et comme moyen de traiter les interactions complexes sur le long terme. Certains vont jusqu'à voir en elle une véritable méthode de développement favorisant la prise en compte de la diversité, au même titre que la démarche "recherche - développement" et que la démarche "création-diffusion", en ce sens que la modélisation implique des allers et retours entre le sectoriel et le global et entre le fondamental et l'appliqué (Cretenet, 1995).

Toutefois l'intégration de modèles décrivant des processus physiques et de modèles décrivant des comportements humains se heurte à une limite liée à la nature des changements modélisés. Les biophysiciens ont à simuler le plus souvent des changements de l'ordre du mouvement (Kinésis d'Aristote), susceptibles d'être traités par des équations différentielles, éventuellement discrétisées mais supposant une récursivité temporelle, tandis que les économistes simulent un changement de l'ordre de l'engendrement (génésis), typiquement traité par la programmation mathématique qui vise à résoudre des systèmes d'équations simultanées (Matarasso, 1995). De ce fait, le couplage des deux types de modèles ne doit pas viser la construction d'un modèle unique mais consiste plutôt à alimenter un modèle avec les résultats générés

par l'autre.

Ainsi, les économistes utilisent des modèles d'agronomes biophysiciens pour générer les « coefficients techniques » qu'ils doivent fournir à leurs modèles. Ces coefficients techniques sont ceux qui relient les actes techniques, vus comme mise en œuvre des facteurs de production, aux produits. Pour cela, les modèles biophysiques modernes sont perçus par les économistes comme un progrès considérable par rapport aux fonctions établies à partir de résultats de stations expérimentales, d'enquêtes et de points de vue d'experts, peu à même de rendre compte des interactions entre facteurs (Boussemart et al., 1995).

Cependant, de nombreuses modifications de cette approche "standard" sont apparues pour des raisons liées à une utilisation croissante en gestion, à l'évolution des mathématiques et des moyens de calcul et d'accès à l'information. Selon ces modifications, la partie de modélisation biophysique des modèles bio-économiques n'est plus nécessairement chargée de fournir des informations à un modèle économique qui prédomine.

IV. La modélisation bio-économique retenue : définition et spécificité

"Un modèle consiste en la représentation formelle d'idées et de connaissances relatives à un phénomène"

En ce sens, les modèles sont des idéalizations de la réalité qui nous permettent de comprendre et de prévoir le fonctionnement d'un système avec une certaine précision numérique. Ils constituent le moyen le plus efficace dans toutes les sciences, malgré les simplifications et les hypothèses restrictives. En effet, bien qu'ils n'arrivent jamais à reproduire parfaitement la réalité, les modèles restent toujours, à travers une intégration d'un grand nombre de facteurs et de paramètres, l'unique outil capable de s'en approcher considérablement.

Théoriquement, 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.

L'utilisation d'un modèle permet de combler les lacunes des études sur le terrain. En

effet, ces derniers éludent le plus souvent les effets à long terme des différentes techniques sur les ressources naturelles et sur le rendement de la production. La raison de cette lacune est simple : l'expérimentation ne permet pas de connaître immédiatement les effets, et il faut attendre une longue période pour en connaître les résultats. De plus, le besoin urgent d'augmenter à court terme la production pour combler les besoins croissants d'une population galopante, conduit à négliger le long terme.

IV.1 EPICPHASE (EWQTPR) : comme outil de la modélisation biophysique

IV.1.1 Les modèles de simulation biophysique : définition, forces et faiblesses

Il convient de signaler que le principe fondamental est celui de modèles de simulation de la croissance des plantes.

"En agriculture, l'expression modèle de simulation biophysique 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" (Boussard J.M., Jacquet F. et Flichman G., 1987).

Les modèles biophysiques en agriculture sont des méthodes purement agronomiques capables d'établir les rapports input-output en ce qui concerne la production végétale. Ils sont construits, d'une part, à partir de fonctions mathématiques qui retracent le comportement des plantes et l'évolution du sol et, d'autre part, à partir d'une description des processus.

Ces modèles, dans la mesure où ils peuvent fournir à l'économiste les résultats en terme de production, des différentes combinaisons des facteurs de production, constituent un moyen très intéressant pour la construction de fonction de production qu'on qualifiera de fonction de production d'ingénieur (G. Flichman 1987).

Plusieurs facteurs ont contribué à l'expansion de l'emploi des modèles de simulation dans la recherche en économie agricole. Tout d'abord, par formation, les économistes ne sont pas bien équipés généralement pour entreprendre l'expérimentation physique qui demande beaucoup d'informations. Lorsque les informations fiables de l'expérimentation ne peuvent pas être obtenues ni par les scientifiques ni par les physiciens, la simulation devient inévitable étant donné sa

relative facilité à générer la matrice input-output nécessaire. La simulation constitue, aussi, un moyen pour incorporer certaines variables stochastiques (par exemple, les états de nature) qui ne sont pas facile à observer et ceci en facilitant une meilleure compréhension du système à modéliser.

Actuellement, la simulation est devenue un outil de plus en plus puissant surtout quand les données générées conduisent à de bons résultats qui ne peuvent pas être obtenus par des techniques alternatives. La simulation peut substituer en grande échelle l'expérimentation physique en particulier quand la simulation *ex ante* peut aider à la compréhension d'un système qui n'existe pas ou, du moins qui est actuellement infaisable par l'expérimentation (Anderson, 1974 ; Johnson and Rausser, 1977).

L'autre facteur, qui a beaucoup contribué au succès des modèles de simulations biophysiques, est le développement et la facilité d'accès à l'outil informatique. En effet, l'une des premières grandes inquiétudes concernant l'expérimentation est sa durée. Il n'est pas donc surprenant de considérer la multiplication des modèles de simulation comme une avance technologique comparée à l'expérimentation physique ou à d'autres méthodes tant par son coût le plus bas que par sa durée.

La construction des modèles de simulation, en agriculture, a été utilisée pour résoudre des problèmes complexes pluri-espèce et pluri-annuel. Les projets d'irrigations représentent un domaine de simulation privilégié (Anderson, 1974 ; Johnson and Rausser, 1977 ; King et al, 1993). Actuellement, l'accroissement de la demande de ces modèles, dans les différents domaines, a conduit au développement des modèles de simulation spécialisés.

Toutefois, ces modèles de simulation présentent un certain nombre de faiblesses qui sont dignes de considération. Premièrement, le besoin de valider le modèle de simulation dans chaque application induit généralement un coût élevé et une grande perte du temps (Harnos, 1987). Deuxièmement, le fait que beaucoup de contributions et décisions de simulation soient prédéterminées et incontrôlables nécessitent ainsi une coopération interdisciplinaire, qui n'est pas toujours faisable, pour que les modèles de simulation soient adaptables pour d'autres recherches, (Musser et Tew, 1984). Troisièmement, la divergence entre les résultats du modèle de simulation et les résultats observés dans la réalité est assez fréquente. En effet, toutes les applications empiriques qui n'ont pas donné beaucoup d'importance à la validation du modèle peuvent être considérées non fiables (Johnson et Rausser, 1977 ; King et

al 1993). La validation est une condition préalable pour discerner si les suppositions prédéterminées et les prescriptions résultantes du modèle sont transportables et applicables au nouvel environnement ou problème d'investigation.

IV.1.2 Types de modèles biophysiques appliqués à l'environnement naturel

Les modèles de simulation et leurs applications ont été conduits habituellement suivant des objectifs et des sujets très diversifiés. Bien que nous ayons sélectionné uniquement ceux appliqués à des études concernant la relation agriculture-environnement à savoir l'érosion du sol, la liste est trop large et par conséquent elle ne sera pas entièrement avancée. Le peu qui a été sélectionné sert seulement à illustrer la multitude des modèles de simulation pour un seul problème.

Dans la littérature, on trouve au moins 45 modèles de simulation biophysique qui sont destinés directement ou indirectement à l'estimation de l'érosion en fonction des conditions climatiques, des paramètres pédologiques, des pratiques et des techniques culturales. Ces modèles peuvent être classés en deux grandes catégories. La première englobe les modèles qui sont développés spécialement pour estimer l'érosion en fonction du climat, du sol, de rotation et des techniques culturales. Parmi ceux-ci on trouve les modèles CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems), EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator), EPICPHASE (version modifiée d'EPIC par la station INRA de Toulouse), LISEM (Limburg Soil Erosion Model), MASQUE1 (Mulch Application Simulation to Quench Unchecked Erosion), PERFECT (Productivity, Erosion and Runoff Functions to Evaluate Conservation Techniques), SDE (Soil Depletion Estimates), SHIELD (SHIELD 1.0 - Simulation of Hedgerows Intervention against Erosion and Land Degradation), SOIL_DEPL (Soil Depletion Estimates Model), SOIL_E (wind and water erosion estimation), SOIL EROSION, SOILOSS, SWIM (Soil and Water Integrated Model), WEPS (Wind Erosion Prediction System), WERM (Wind Erosion Simulation Models).

La seconde catégorie englobe les modèles qui se sont développés à des fins autres que l'érosion mais peuvent l'estimer à savoir CROPSYST (Cropping Systems Simulation Model), AGNPS (Agricultural Non-Point Source pollution model), ALMANAC (Agricultural Land Management Alternative with Numerical Assessment), CPIDS (Crop Parameter Intelligent Data base System), OPUS integrated model for transport of nonpoint-source pollutants), PERF_ED (agricultural management

decisions)¹⁹.

Cet ensemble de référence correspond à des approches théoriques ne considère pas, néanmoins, tout travail empirique comme une simulation mécanique. Théoriquement, l'ensemble de ces modèles sont capables de mesurer l'effet du sol, du climat et des pratiques culturales sur l'érosion et leurs effets sur les rendements des cultures. Mais en pratique, peu sont ceux qui sont applicables, soit qu'il y ait un problème de manque d'informations indispensables pour leur fonctionnement, soit qu'il y ait un problème de validation. Dans ce cas ils ne sont donc applicables que dans des zones à climat spécifique.

IV.1.3 Le modèle biophysique choisi

La multitude de modèles biophysiques, d'une part, et le manque d'information sur leurs modes de fonctionnement d'autre part, nous a conduit à restreindre notre choix entre uniquement trois modèles, que nous connaissions déjà, à savoir CREAMS, EPICPHASE et CROPSYST. Le point commun entre ces trois modèles est leur utilisation pour l'évaluation des différents systèmes de production agricole, pour l'estimation des résultats des diverses techniques culturales, pour la prédiction des rendements dans différentes régions, pour la mesure de la dégradation du sol à cause de l'érosion et, enfin, pour l'évaluation des résultats techniques en fonction des scénarios probables de politiques agricoles.

❶ CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)

CREAMS est un modèle à grande échelle qui a été développé par Skaggs (1987) dans les pays à climat "tempéré" pour simuler l'effet des pratiques et des techniques agricoles sur l'érosion et la pollution par les produits chimiques. Il est applicable à diverses échelles spatiales (parcelle, exploitation) et temporaires (court, moyen et long terme). Les caractéristiques du modèle CREAMS sont : la facilité de sa calibration en particulier dans les régions à climat tempéré et la simplicité de son utilisation étant donné qu'il ne demande pas beaucoup de paramètres.

La principale critique que l'on puisse apporter à ce type de modèle, au vu des présentations succinctes qui ont été obtenues, est qu'il concentre toute son attention, d'une part, sur, uniquement, la mesure de l'érosion causée par les pratiques et les techniques agricoles et, d'autre part, sur des sols et des climats "tempérés". Il ne contient donc pas de paramètres concernant les techniques de conservation des

¹⁹ Pour en savoir plus sur l'ensemble de ces modèles voir leurs spécificités sur le site <http://dino.wiz.uni-kassel.de/>

eaux et du sol et il ne peut pas non plus s'appliquer partout comme le cas du modèle EPIC et CROPSYST.

❷ CROPSYST (Cropping Systems Simulation Model)

CROPSYST est un modèle biophysique qui simule plusieurs processus qui gouvernent la relation entre le climat, la culture, le sol, la pratique culturale et les itinéraires techniques. Il a été développé comme un outil d'orientation et de gestion et non comme un outil de recherche. Ce modèle permet d'estimer le rendement de différentes cultures et les pertes en sol en fonction des conditions agro-écologiques, des techniques utilisées, des travaux réalisés et des rotations considérées. Actuellement, son application s'est beaucoup étendue pour atteindre d'autres objectifs plus complexes à savoir l'analyse de l'impact des politiques agri-environnementales sur la productivité, le système de production et le niveau de percolation d'azote dans le sol.

Sur le plan agronomique, l'utilisation du modèle CROPSYST permet de simuler dans le temps la succession des cultures sur une même parcelle, par conséquent de prévoir l'état du sol en terme d'évolution du stock d'eau et des éléments fertilisants. Par contre, sur le plan économique, ce modèle permet de tester les différents scénarios agronomiques et donc de déterminer le scénario le plus rentable dans chaque parcelle, sous réserve d'intégrer le maximum de faits connus concernant les interactions entre variables et d'avoir étalonné ce modèle sur un éventail de situations assez large.

La limite principale du modèle CROPSYST réside au fait qu'il soit toujours en version provisoire et par conséquent son utilisation est souvent heurtée à des problèmes techniques.

❸ EPIC- EPICPHASE temps réel (Erosion Productivity Impact Calculator)

EPIC est un modèle développé par l'ASDA-ARS de Temple (USA), pour simuler les effets du sol, du climat, des pratiques et des rotations culturales sur l'érosion du sol, puis l'effet à long terme de celle-ci sur le rendement des cultures (Cabelguenne, 1995). L'originalité du modèle E.P.I.C., est sa capacité à intégrer divers aspects en même temps.

Ecrit en Fortran, et utilisable aussi bien sur micro ordinateur que sur gros système, EPIC a été choisi comme outil de recherches agronomiques par plusieurs équipes d'agronomes européens, étant donné qu'il est capable de simuler les interrelations entre le sol, la plante, le climat et les itinéraires techniques. Contrairement aux

modèles plante, de type physiologique, et annuels, EPIC est un modèle de type global, pluri-espèces et pluri-annuel, à pas de temps journalier.

Selon Putman et Dyke (1987), EPIC est un modèle sophistiqué de fonction de production qui simule l'interaction entre le processus du sol, de la plante et de la conduite de cultures dans la production agricole. En effet, il permet de simuler la croissance d'environ 70 espèces végétales en fonction, d'une part, des conditions pédologiques et climatiques des régions considérées et, d'autre part, des variables spécifiques de chaque culture ainsi que des itinéraires techniques employés sur le terrain. C'est ainsi que, partant d'une série de contraintes physiques, le modèle optimise (en terme technique et économique) le rendement agronomique des diverses cultures. " EPIC est donc une vraie fonction de production ; cela veut dire que les rendements obtenus, moyennant l'utilisation d'EPIC, sont l'optimisation du point de vue agronomique" (Vicien C., 1989).

Le modèle EPIC a été modifié par l'INRA de Toulouse en modèle EPICPHASE temps réel. La première modification a consisté à développer un nouveau module de croissance des plantes prenant en compte le découpage du cycle des cultures en plusieurs phases à partir des sommes de température (phases sensibles), l'adaptation du modèle aux possibilités d'extraction d'eau du sol par les racines (variable selon les cultures), la variation de l'indice de récolte en fonction des stress hydriques subis par la culture dans chaque phase. La version standard d'EPIC est ainsi devenue la version EPICPHASE.

La version « temps réel » (EWQTPR), est une option interactive d'EPICPHASE, permettant à l'utilisateur d'intervenir à tout moment pour : 1) arrêter la simulation et visualiser les variables d'état du milieu sol-plante-climat (exemple profil hydrique, indice foliaire...), 2) modifier la valeur de ces variables à partir de mesures réalisées sur le sol et/ou sur la plante, puis de relancer la simulation, 3) introduire des données climatiques prévisionnelles pour anticiper l'évolution du déficit hydrique du sol et du stress puis simuler leurs effets sur le développement de la culture (surface foliaire, matière sèche) et le rendement.

Divers menus interactifs permettent à l'utilisateur de choisir les dates d'arrêt de la simulation, de revenir en arrière si nécessaire, et de visionner jour par jour l'état des indicateurs. La possibilité de connaître ces états, difficilement mesurables ou fluctuants, et d'apprécier leurs effets sur le rendement fait de cette version du modèle un outil d'aide à la décision original.

Pour notre travail, nous avons choisi le modèle EPICPHASE temps réel (EWQTPR) étant donné qu'il a été conçu pour répondre à la problématique de l'érosion d'une

part et pour sa facilité d'utilisation d'autre part comparé aux deux autres modèles. L'application de ce modèle, dans le cadre de cette recherche a un triple objectif : simuler les effets du sol, du climat, des pratiques et des rotations culturales sur l'érosion du sol, puis l'effet à long terme de celle-ci sur le rendement des cultures, évaluer les effets à long terme des techniques anti-érosives sur l'érosion et sur les rendements des cultures et fournir les coefficients techniques destinés à être incorporés dans la matrice du modèle économique.

IV.2 Le modèle de programmation mathématique : un modèle dynamique récursif

IV.2.1 Aperçu historique sur les modèles mathématiques

L'utilisation du modèle de programmation mathématique par les économistes agricoles remonte aux années 50 et le rôle du professeur Heady de l'Université de l'Etat l'Iowa doit être mentionné.

Historiquement, la programmation mathématique a été développée à des fins militaires pendant la deuxième guerre mondiale par Georges Dantzig au sein du projet SCOOP qui avait pour tâche de calculer les plans logistiques de l'armée américaine. Par exemple, pour soutenir un tank en Europe il faut une certaine quantité de carburant, du personnel, ce personnel a besoin de nourriture, de vêtements, le tout requiert des moyens de transport. Des procédures itératives étaient utilisées et Dantzig a eu l'idée d'adjoindre un objectif à maximiser (ou minimiser) pour pouvoir déterminer mathématiquement la solution optimale (Benoit-Cattin M., 1996).

Depuis, les modèles de programmation sont utilisés dans de nombreux processus de prise de décision où le décideur doit identifier et quantifier ses limites, contraintes de temps, de travail, d'argent, etc., et doit spécifier une fonction objectif à maximiser (profit) ou minimiser (coût).

Les premiers modèles intégrant agriculture et environnement ont été construits par Walker et Swanson aux USA en 1971 pour tester l'effet d'une restriction de l'emploi de nitrates. Cette première émergence va donner naissance à la construction d'un grand nombre de modèles de ce type parmi lesquels on peut citer celui de Hunter et Keller (1983), Domanico et al (1986), Dabbert et Madden (1986), Barbier (1988), Pezzey (1989), Ruas (1990), Cheneau-Locquay (1991), Deybe et al (1992), etc...

Cependant au départ, les modèles de programmation étaient utilisés pour résoudre des problèmes linéaires, déterministes et statiques, alors qu'aujourd'hui on peut les

utiliser pour résoudre des problèmes non linéaires, aléatoires, discontinus, dynamiques et récursifs plus complexes.

IV.2.2 Structure du modèle de programmation mathématique

"Les modèles de programmation mathématique sont des représentations simplifiées mais quantifiées d'un phénomène réel" (Boussard, 1971). Ils permettent d'obtenir la combinaison optimale entre différentes activités soumises à diverses contraintes et concourant à la réalisation d'un objectif donné (Boussard J.M., 1988).

Les techniques mathématiques d'optimisation permettent, grâce à quelques algorithmes, de résoudre des problèmes de maximisation ou de minimisation sous contraintes. L'hypothèse de base des modèles d'optimisation, issue de la théorie néoclassique, stipule que la rationalité d'un individu consiste à maximiser une fonction d'utilité sous contraintes. En agriculture, le plus fréquent est de maximiser un revenu sous les contraintes de terre, de travail et de capital.

Les modèles de programmation mathématique sont des instruments particulièrement bien adaptés aux problèmes qui se posent dans le secteur agricole étant donné la forte indépendance entre ses diverses activités" (Boussard J.M. et Daudin, 1988). Ils permettent la résolution des problèmes dans lesquels une fonction d'utilité doit être optimisée (maximisée ou minimisée) sous un certain nombre de contraintes, techniques, financières, économiques, politiques, environnementales et de risque (variabilité des rendements et incertitude sur le niveau des prix).

La spécificité des modèles de programmation mathématique se manifeste par le fait qu'ils incitent à dépasser le simple stade du constat et à s'intéresser aux dynamiques en jeu, notamment en essayant de rendre compte des ressorts technico-économiques de la diversité socio-économique (Benoit-Cattin, 1991).

Fondamentalement, comme on sait, un modèle de programmation se présente sous la forme la plus simple possible suivante (Boussard, 1987):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max}(\text{Min})F = \sum_i B_i X_i \\ \sum_i a_{ki} X_i \leq b_k \\ X_i \geq 0 \end{array} \right.$$

Où **F** représente la fonction objectif à optimiser, **B_i** le bénéfice ou le coût de chaque activité *i* (selon qu'on maximise ou on minimise la valeur de la fonction objectif), **a_{ki}**

les coefficients techniques correspondant aux besoins en ressources ou en intrants k de l'activité i , b_k les disponibilités en ressources k , et X_i une variable dont la valeur est déterminée de manière endogène comme résultat de la résolution mathématique, représentant le niveau optimal d'intensité sous contrainte de chaque activité.

Economiquement, l'utilisation d'un tel modèle de programmation permet de visualiser les effets de la variation de certaines données (le prix des denrées, le capital disponible, le prix des produits, le taux d'intérêt, etc.) sur le choix d'activités productives. Sa matrice fournit des solutions déterminées par les contraintes techniques, économiques et politiques. Ces solutions peuvent être utilisées d'une façon positive ou d'une façon normative comme outil d'aide à la décision (Deybe D., 1989).

IV.2.3 Le choix de la modélisation du risque²⁰ : pour un modèle plus réaliste

Le modèle précédemment décrit ne tient pas compte des aléas et incertitudes. Or ceux-ci ont une large influence sur le comportement de l'agriculteur.

$$\text{Dans le modèle théorique } \begin{cases} \text{Max(Min)} F = \sum_i B_i X_i \\ \sum_i a_{ki} X_i \leq b_k \\ X_i \geq 0 \end{cases}$$

B_i , a_{ik} , b_k sont en fait des variables de nature aléatoire ou incertaine. Le calcul du plan de production en avenir certain ne correspond pas aux choix des agriculteurs qui prennent en compte les risques de pertes ou de gains liés aux aléas et incertitudes.

Le risque ou l'incertitude joue, ainsi, un rôle capital dans la prise de décision du producteur, il modifie profondément le comportement du sujet économique. Comme l'indiquent Hazell et Norton (1986), « ignorer le comportement d'aversion au risque dans les modèles d'exploitations amène souvent à des résultats qui sont inacceptables pour l'exploitant ou qui ont très peu de relations avec les décisions que (le producteur) prendra ». Par conséquent, il est donc impossible de négliger cet aspect des choses surtout quand on se situe à une échelle méso-économique.

Parmi les différents types de risques auxquels les producteurs agricoles doivent faire face, on peut citer :

* Le risque de production, représenté par la variabilité des rendements en fonction des aléas climatiques, variable sur laquelle, en général, le producteur a peu

²⁰ Nous suivons Frank Knight (1921) sa définition du risque qui le distingue de l'incertitude. Le risque est différent de l'incertitude au sens où il est possible de lui assigner une probabilité. Cette probabilité mesurable scientifiquement est objective, et la distribution des résultats est connue.

d'influence.

* Le risque dans les prix, qui influence la prise de décision à deux moments : au moment du choix de type de culture, choix fondé sur les anticipations sur les prix (Boussard J.M., 1970 ; Gérard, 1991) et au moment de la mise en marché, lorsque le producteur doit choisir entre stocker ou vendre sa production, ce qui affectera la quantité totale offerte et par conséquent ses revenus (Gérard, 1991).

Le risque est introduit dans le modèle, soit dans la fonction objectif, en référence au modèle de la «sélection de portefeuille », proposé par Markowitz en 1952, soit dans les contraintes. On compte dans la littérature, trois grands types de modèles en avenir aléatoire, que nous allons rapidement passer en revue afin de choisir celui qui nous semble le plus adéquat pour notre cas.

IV.2.3.1 Les modèles avec risque sur les contraintes

Ce type de modèle, avancé par Charnes et Cooper en 1959, suppose que l'agriculteur maximise son revenu sous la contrainte de risque probabiliste

$\Pr\left\{\sum_i B_{it} X_i \leq R_0\right\} \leq \alpha$, avec R_0 le revenu minimum et α la probabilité tolérée par

l'agriculteur pour que ce revenu minimal ne soit pas atteint.

Pour résoudre ce type de problème, on fait généralement l'hypothèse que les marges brutes dégagées par chaque activité et le coût de chaque facteur suivent une loi de probabilité de Gauss définie par le couple (moyenne, variance). Soit la fonction de distribution cumulative de la loi normale centrée réduite, on a :

$$\Pr\{B_{it} X_i \leq R_0\} \leq \alpha \Leftrightarrow \Pr\left[\frac{B_{it} X_i - \bar{B}_i X_i}{\sigma} \leq \frac{R_0 - \bar{B}_i X_i}{\sigma}\right] \leq \alpha \Leftrightarrow \frac{R_0 - \bar{B}_i X_i}{\sigma} \leq \theta^{-1}(\alpha)$$

$$\Leftrightarrow \bar{B}_i X_i + \theta^{-1}(\alpha)\sigma \geq R_0$$

Le modèle s'écrit :

$$\begin{cases} \text{Max}(B_{it} X_i) \\ \bar{B}_i X_i + \theta^{-1}(\alpha)\sigma \geq R_0 \\ \sum_i a_{ik} X_i \leq b_k \end{cases}$$

IV.2.3.1.1 Le modèle " Safety first"

L'objectif de l'agriculteur selon AD Roy (1952) est de minimiser les risques de ruine. Ainsi, il choisira un plan de production X^* qui lui assurera un revenu minimum de la façon la plus probable.

$$\Pr\left\{\sum_i B_{it} X_i^* \leq R_0\right\} = \min\left(\Pr\left\{\sum_i B_{it} X_i \leq R_0\right\}\right)$$

Avec Pr la loi de probabilité du revenu et R_0 le revenu minimum.

$$\text{Le modèle s'écrit : } \begin{cases} \text{Max} \left[\frac{\sum_i \bar{B}_i X_i - R_0}{\sigma} \right] \\ \Pr\left\{\sum_i B_{it} X_i \leq R_0\right\} \leq \frac{\sigma^2}{\left(\sum_i \bar{B}_i X_i - R_0\right)^2} \\ X_i \geq 0 \end{cases}$$

Avec σ l'écart type du revenu de l'exploitation.

Ce modèle présuppose un comportement très conservateur de la part de l'agriculteur. Il est plus vraisemblable d'imaginer que celui-ci maximise son revenu à condition que le revenu soit inférieur au revenu minimum avec une très faible probabilité.

Ce type de modélisation se base sur le même principe que la méthode « jeu contre nature » appelée aussi méthode « maximin » proposée par la théorie des jeux (Mc Inerney) dans laquelle l'agriculteur cherche à rendre maximum le revenu minimum qu'il peut obtenir selon les événements et ceci on introduisant un vecteur de variables fictives Y_t , avec T le nombre d'états de la nature, tel que :

$$\begin{cases} \text{Max} \left[\sum B_{it} X_i - Y_1 \right] \\ \sum_i a_{ik} X_i \leq b_k \\ \sum_i (B_{it} - B_{i1}) X_i - (Y_t - Y_1) = 0 \forall t \geq 1 \\ Y \geq 0, X_i \geq 0 \end{cases}$$

IV.2.3.1.2 Le modèle Target MOTAD

Tauer (1983) propose un modèle dérivé du programme MOTAD qui a l'avantage selon lui d'être plus simple d'utilisation, plus proche du système de pensée de l'agriculteur et qui donne des solutions dominantes au premier et second degré de stochasticité. Le modèle Target MOTAD est paramétré par λ l'espérance de pertes mesurées en référence à un revenu minimum R_0 . L'agriculteur choisit un plan d'activité qui maximise son revenu espéré en s'assurant que l'espérance de ses

perdes est inférieure à λ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max} \sum_i \bar{B}_i X_i \\ \sum_i a_{ki} X_i \leq b_k \\ R_0 - \sum_i B_{it} X_i - Z_t^- \leq 0 \forall t \\ \sum_{t=1}^T p_t Z_t^- = \lambda \\ Z_t^-, X_i \geq 0 \forall i, t \end{array} \right.$$

Avec : p_t la probabilité d'avoir un vecteur B_{it} .

Z_t^- mesure la valeur de la déviation entre le revenu minimum et le revenu de l'observation t .

Bien qu'ils soient très utilisés en agriculture, ces modèles sont cependant moins adaptés à notre cas puisqu'il s'avère très difficile d'estimer un revenu minimal pour chaque groupe d'exploitation.

IV.2.3.2 Les modèles avec risque sur les coefficients techniques

Contrairement à l'ensemble des modèles précédents, qui considèrent le risque et l'incertitude uniquement sur les éléments du vecteur B_i , ce type de modèle prend en compte la variabilité des coefficients techniques a_{ki} et b_k . Lorsque ces deux derniers sont aléatoires, une telle modélisation revient à multiplier la dimension du problème "certain" par T le nombre d'observations des états de la nature. Dans le cas d'exploitations détaillées, cette méthode peut conduire à des matrices de taille trop importante pour que le problème soit facilement résolu. Par contre, dans le cas de petits modèles, cette méthode a l'avantage de ne pas nécessiter le recours à des lois de probabilité pour les variables B_i , a_{ki} , b_k et la définition d'un seuil de revenu.

IV.2.3.2.1 Le modèle stochastique discret

Ce modèle, proposé par Rae en 1971, est utilisé lorsque l'agriculteur ne connaît pas les lois de probabilité des variables aléatoires et il ne peut choisir son plan optimal de production qu'en fonction de son expérience fondée sur l'observation des événements passés. Chacun de ces événements devient un « état de la nature » à prendre en compte pour juger d'un plan de production.

Ce modèle se base sur l'affectation à chaque événement une probabilité subjective $(p_t)_{t=1 \text{ à } T}$ (T est le nombre d'états de la nature) avec $\sum_{t=1}^T p_t = 1$, et de résoudre le

problème, :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max} \sum_i \sum_{t=1}^T p_t (B_{it} X_i) \\ \sum_i a_{ikt} X_i \leq b_{kt}, t = 1 \dots T \\ X_i \geq 0 \end{array} \right.$$

Lorsque la seule variable aléatoire est c , ce modèle devient une continuité du modèle « maximin » de la théorie des jeux avec affectation d'une probabilité à chaque événement au lieu d'introduire le vecteur de variables fictives.

L'inconvénient principal de ce type de modèle tient au fait que pour chaque "état de la nature" (auquel est affecté un coefficient de probabilité), doivent être définies les données en terme de rendements, prix, et niveau des coefficients techniques, ce qui conduit à de grands modèles très exigeants en données souvent difficiles à obtenir sur le terrain, et demandent des logiciels de résolution et des ordinateurs puissants. Cependant, quand ces obstacles peuvent être surmontés, le modèle permet d'analyser de manière très fidèle la prise de décision chez les agriculteurs et a donné lieu à plusieurs utilisations (Apland et al, 1993). De telles raisons nous mènent à les écarter de notre cas.

IV.2.3.3 Les modèles avec risque sur les coefficients de la fonction objectif

IV.2.3.3.1 Le modèle Espérance - Variance

Le premier modèle espérance - variance appliqué à l'exploitation se trouve dans l'article de Freund (1956). Cet auteur se servant du modèle de production classique avec maximisation du revenu de l'exploitation substituée à l'espérance de revenu, une fonction d'utilité F' .

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max} F' = \sum_i \bar{B}_i X_i - \frac{\phi}{2} \sum_{i,j} \Omega_{ij} X_i X_j \\ \sum_i a_{ki} X_i \leq b_k \\ X_i \geq 0 \end{array} \right.$$

Avec $\Omega_{ij} = \sum_t \frac{(B_{it} - \bar{B}_i)(B_{jt} - \bar{B}_j)}{t}$, matrice des variances -covariances

$\bar{B}_i = E(B_{it})$, espérance du bénéfice de chaque activité.

$$\bar{B}_i = \sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right]$$

Ce modèle peut être linéarisé et ceci en fixant un revenu minimum R_0 à ne pas atteindre, et on l'écrit de la manière suivante.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min} \left[\sum_{ij} X_i \Omega_{ij} X_j \right] \\ \sum_i \bar{B}_i X_i \geq R_0 \\ \sum_i a_{ki} X_i \leq b_k \\ X_i \geq 0 \end{array} \right.$$

IV.2.3.3.2 Le modèle Espérance - Ecart type

Inspiré par le modèle espérance variance, ce modèle présente l'avantage d'utiliser des concepts dimensionnellement équivalents à savoir le revenu et l'écart type. Il peut être utilisé dans le cas où non seulement B_i est une variable aléatoire ou incertaine mais a_{ki} aussi. Ce modèle se présente comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max} \sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i - \phi \sigma \\ \sum_i a_{ki} X_i \leq b_k \\ X_i \geq 0 \end{array} \right.$$

Avec σ : écart type, ϕ coefficient d'aversion au risque

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum_i (\sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i - \sum_i B_{it} X_i))^2}{T}}$$

Cette méthode malgré qu'elle soit compliquée, elle nous semble la plus appropriée pour développer notre travail puisque nous la jugeons la plus proche de la réalité.

IV.2.3.3.3 Le modèle MOTAD

Le modèle MOTAD « Minimisation Of the Total Absolute Déviations », proposé par Hazell en 1971, a été inspiré par le modèle espérance - variance appliqué par Freund. Il repose sur l'estimateur MAD de la variance du revenu global de l'exploitation par la somme des déviations négatives et positives par rapport au revenu moyen, avec :

$$MAD = \sigma^2 = \frac{T}{T-1} \frac{\Pi}{2} \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \sum_i B_{it} X_i - \sum_i \left(\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right) X_i \right|^2 \right]$$

Où T est le nombre d'observations B_t indépendantes et identiquement distribuées de la variable aléatoire B (voir Michalland B., 1995).

Soit Z_t^+ , Z_t^- les déviations positives et négatives par rapport à la moyenne du revenu pour chaque observation t :

$$Z_t^+ = \sum_i B_{it} X_i - \sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i \Leftrightarrow \sum_i B_{it} X_i \geq \sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i$$

$$Z_t^- = \sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i - \sum_i B_{it} X_i \Leftrightarrow \sum_i B_{it} X_i \leq \sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i$$

L'objectif de l'agriculteur dans ce cas consiste à minimiser la somme des déviations pour chaque observation t.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min} \sum_t Z_t^+ \\ \sum_i a_{ki} X_i \leq b_k \\ X_i \geq 0 \\ \sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i \geq \lambda \\ \sum_i \left[B_{it} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i - Z_t^+ \leq 0 \\ Z_t^+ \geq 0 \end{array} \right.$$

λ prenant des valeurs paramétrées

De la même manière que précédemment on peut également construire un modèle multiobjectif de la forme :

$$\text{Max} \sum_i \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T B_{it} \right] X_i - \phi \sum_t (Z_t^+ + Z_t^-)$$

Avec ϕ le coefficient d'aversion au risque.

IV.2.4 Le modèle de programmation mathématique : du positif au normatif

La programmation mathématique, utilisée par les économistes, est une approche normative. En réalité, elle peut-être aussi considérée comme une simple hypothèse de comportement à partir de laquelle on peut faire varier différents paramètres et décrire de façon positive les résultats qui en découlent, en utilisant le modèle comme modèle de simulation.

En économie agricole, la première utilisation du modèle de programmation a été la détermination des plans de production optimaux, au niveau de l'exploitation agricole ou du sous-secteur ; il s'agit d'une approche prescriptive, normative. En construisant un modèle du système de production, l'économiste agricole construit une fonction de production multi-produits essentiellement basée sur les références techniques fournies par les ingénieurs, soit à partir de résultats expérimentaux soit à partir de leur connaissance de la réalité. La préoccupation de savoir reproduire le système

existant avant d'examiner son amélioration a conduit à une utilisation plus positive de la programmation mathématique.

Pour notre travail, l'utilisation de la modélisation en tant qu'approche descriptive (positive), du moins au départ, nous semble beaucoup plus appropriée. L'objectif de ce modèle descriptif est de reproduire la situation actuelle, de comprendre et de représenter le fonctionnement du système étudié et ceci en incorporant tous les outils analytiques. *"L'objectif est donc non pas de dire ce [que les agriculteurs] doivent faire mais comprendre pourquoi ils font ce qu'ils font"* (Lacombe Ph., 1996). Ce modèle positif peut être complété par un autre qui sera normatif lorsqu'on cherche à déterminer les plans de productions optimaux induits par certaines politiques agricoles ou environnementales, tout en respectant les normes fixées et sans introduire des contraintes assez actives. Ce passage du positif au normatif, bien qu'il soit en contradiction avec notre positionnement théorique "l'économie écologique", nous semble légitime si on analyse suffisamment les politiques susceptibles de conduire aux résultats optimaux ou souhaités. Il ne s'agit pas donc de viser un optimum, objectif de l'approche normative, mais de comprendre et de simuler comment agir au mieux, compte tenu des informations disponibles, dans une situation de comportement sans gaspillage

IV.2.5 L'échelle spatiale de la modélisation retenue : une dimension régionale

L'échelle retenue est celle de la région. Le terme de « région » fait l'objet des acceptions les plus diverses dans le domaine de l'analyse économique. N'ayant pas cherché à en donner toute les définitions existantes a priori, nous nous sommes référés plus au moins explicitement à une conception donnée de la région en tant qu'un espace ou subdivision administratif d'un Etat disposant d'attributions et de caractéristiques naturelles, humaines et économiques bien définies.

Le choix de cette dimension régionale se justifie aujourd'hui peut-être plus que par le passé étant donné que la libéralisation actuelle des politiques économiques peut entraîner un risque de concentration de l'activité économique dans certaines zones alors que d'autres pourraient se voir progressivement marginalisées et abandonnées. Le danger d'un développement régional inégal est donc réel, alors qu'on connaît les conséquences négatives d'un modèle économique fondé exclusivement sur l'expansion de régions urbanisées.

IV.2.6 L'échelle temporelle de la modélisation retenue : un modèle dynamique et récursif avec adaptation retardée

Le premier développement de la programmation mathématique a été essentiellement pour résoudre des problèmes déterministes et statiques. Aujourd'hui elle est utilisée pour des problèmes de plus en plus complexes, aléatoires, dynamiques, non linéaires, récurrents, etc. Mais la tendance actuelle serait de simplifier les modèles : "*Il faudrait chercher à intégrer les concepts théoriques dans des modèles plus compréhensibles*" (Barbier, 1994).

Pour le présent travail, afin de mener une analyse qui puisse intégrer l'effet à long terme, d'une part, des politiques et des pratiques agricoles sur l'érosion et d'autre part, de ce dernier sur les rendements, nous proposons un modèle dynamique de type *multipériodique récurrent* avec adaptation retardée.

A l'inverse des modèles de programmation monopériodique qui sont plutôt statiques, et qui ne tiennent pas compte du facteur temps, les modèles de programmation multipériodique sont des modèles dynamiques capables de faire des simulations sur plusieurs périodes pendant lesquelles les décisions peuvent être prises.

Dans un modèle de programmation multipériodique, on part d'une situation initiale et on choisit des plans de production pour les années à venir en tenant compte de toute l'information disponible sur le futur, à savoir les anticipations sur les prix et sur les rendements techniques. En effet, pour traiter les questions relatives aux investissements, le temps est une variable essentielle, étant donné que les décisions sont prises en fonction des résultats de l'exercice antérieurs et de leur rentabilité économique.

La spécification d'un modèle dynamique permet une adaptation partielle à court terme et donnera une série de résultats propres à des périodes spécifiques qui indiquent à la fois l'importance des variations de l'adaptation et la vitesse à laquelle elles interviennent dans le temps. Cette spécification permet aussi aux variables endogènes de se modifier pendant la période en question même si les valeurs de toutes les variables exogènes restent fixes. Manifestement, les résultats précisant des voies d'adaptation dans le temps présentent un intérêt particulier pour les décideurs politiques. Néanmoins, leur capacité à indiquer des voies d'adaptation probables dépend de la question de savoir si les coefficients d'adaptation inclus dans le modèle reposent sur une base empirique solide ou s'ils sont simplement supposés par le concepteur du modèle.

Cependant, comme nous sommes devant un problème de simulation multipériodique, il serait nécessaire de trouver un moyen capable de comparer les

bénéfices et les coûts d'une période avec ceux des autres périodes. Un moyen qui permet de ramener ces coûts et ces bénéfices à une base de comparaison. Cette base peut être trouvée par le biais du taux d'actualisation.

En outre, vu que l'élaboration des plans de production d'une année quelconque est dépendante des résultats des années précédentes, il serait intéressant de construire un modèle multipériodique récursif dont l'utilisation se fait pour plusieurs années et dont les résultats d'une année sont influencés par ceux des années précédentes.

L'utilisation de la dimension récursive permet de prendre en compte, par un simple glissement de l'horizon de planification, les résultats de la première année de l'horizon de planification comme données de départ de la première année du nouvel horizon de planification.

Le passé conditionne essentiellement les ressources en bien intermédiaire (terre, nature de sol, matériel...) et en trésorerie. Les ressources en bien intermédiaires disponibles à l'année t dépendent directement des ressources qui étaient disponibles à l'année $t-1$. Ainsi, par exemple, la quantité de terre disponible en début d'année t est égale à la quantité à $t-1$ plus les achats de terre moins les ventes de terre réalisées au cours de l'année $t-1$.

La trésorerie disponible l'année $t-1$ dépend du revenu réalisé l'année précédente (différent du revenu anticipé étant donné que les prix de marché ont pu être différents des prix anticipés) et des prélèvements réalisés par l'agriculteur pour sa propre consommation.

Par ailleurs, pour avoir un modèle plus réaliste, aussi bien pour la trésorerie que pour les ressources en bien intermédiaires, la situation à t ne doit pas dépendre uniquement de l'année $t-1$ mais des années $t-2$, $t-3$,... Si l'on veut représenter de façon simple le niveau des ressources b_t à la période t en fonction des activités X_{t-1} , il faut donc que le vecteur X_{t-1} , représente à la fois les activités de l'année $t-1$, le niveau des ressources en début de période $t-1$ mais aussi les activités engagées à $t-2$, $t-3$,... (notamment l'achat de matériel, la souscription d'emprunt).

Mathématiquement, un modèle de programmation multipériodique récursif se présente sous la forme suivante :

Soit T l'horizon de planification et τ le taux d'actualisation correspondant à la préférence d'une consommation immédiate sur une consommation future, le modèle

pourra s'écrire :

$$\begin{aligned} \text{Max (Min)} \quad F &= \sum_{t=1}^T \sum \frac{XB_t}{(1+\tau)^t} \\ \text{Tel que:} \quad \sum a_t X^t &\leq b_t X^{t-1} \quad t=1 \text{ à } T \\ X^t &\geq 0 \quad t=1 \text{ à } T \end{aligned}$$

Alors que dans le modèle statique et déterministe, l'objectif de l'agriculture était de maximiser le profit (minimiser les coûts) de l'année en cours, l'objectif à plus long terme peut être soit de maximiser la somme actualisée des bénéfices réalisés à l'horizon T, soit de minimiser la somme actualisée des coûts (selon qu'on maximise ou on minimise la valeur de la fonction objectif).

En outre, puisque nous travaillons à une échelle méso-économique, le modèle d'équilibre partiel sera de type dynamique avec adaptation retardée étant donné que l'adaptation des producteurs aux prix de marché demande un certain temps. La quantité demandée à une période quelconque dépend du prix de cette période, mais la quantité offerte dépend du prix de la période précédente. Les plans de production sont faits sur le prix du marché à l'automne alors que la production ne se matérialise qu'un an plus tard.

Dans ce modèle d'équilibre dynamique on maximise le revenu net espéré actualisé sous contrainte d'une demande globale fixe. Pour un produit donné i, ce modèle se présente comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Maximiser} \quad F &= \sum_{t=1}^T \frac{P^{t-1}_i X^t_i - C(X^t_i)}{(1+\tau)^t} \\ \text{Tel que :} \quad P^t_i &= \alpha_i X^t_i + \beta_i \quad \text{avec } \alpha_i < 0 \text{ et } \beta_i > \\ \sum a_{it} X^t_i &\leq b_{it} X^{t-1}_i \quad t=1 \text{ à } T \\ X^t_i &\geq 0 \quad t=1 \text{ à } T \end{aligned}$$

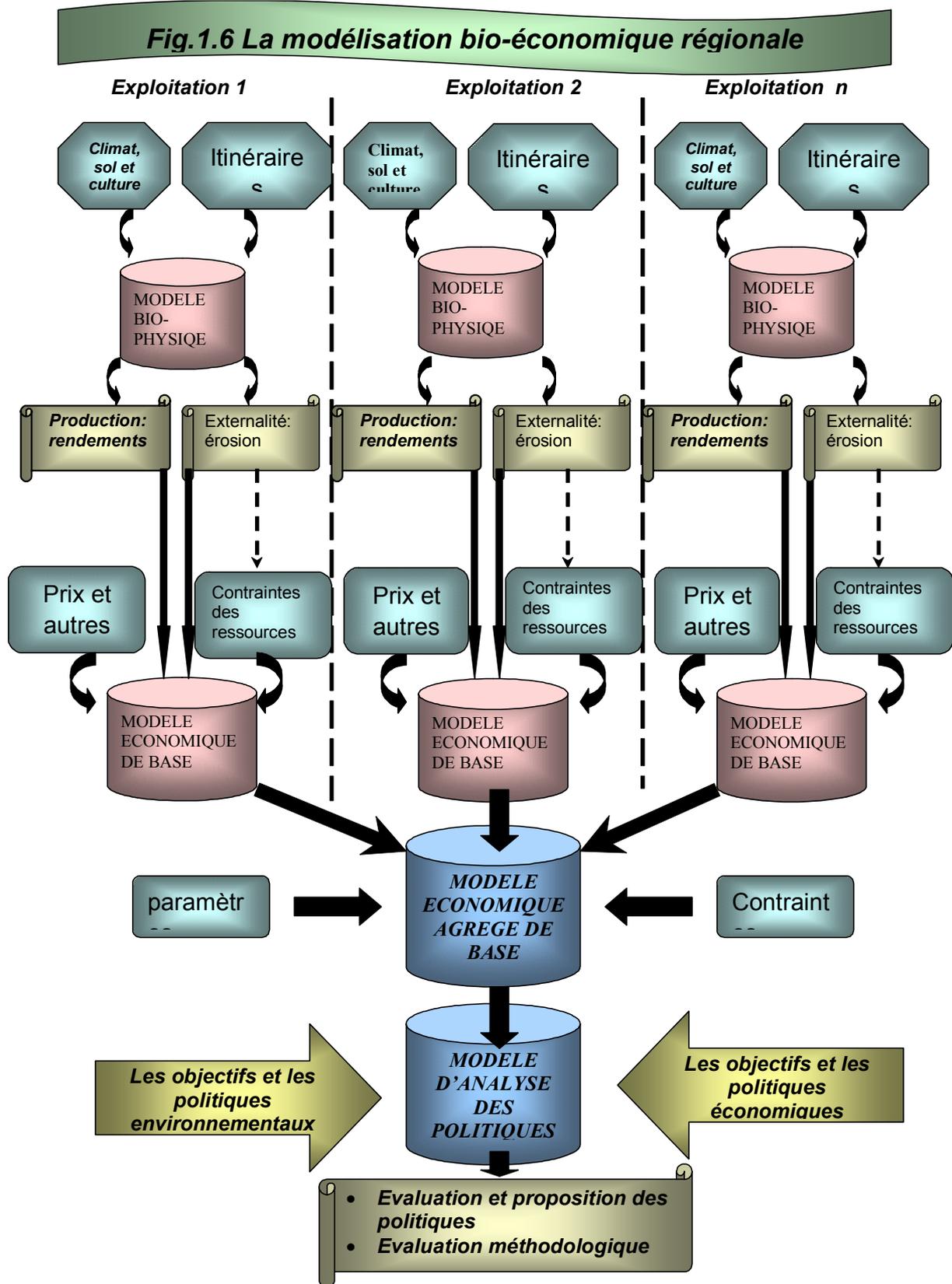
Avec P^{t-1}_i , est le prix du produit i à la période (t-1), X^t_i le volume de la production à la période t, $C(X^t_i)$ les charges directes et indirectes liées à la production du produit i, α_i et β_i sont les paramètres de la droite de la demande.

Conclusion

L'absurdité des résultats parfois obtenus, leur extrême sensibilité à des hypothèses faites sur, par exemple le taux d'actualisation, ont conduit à prendre conscience de la nécessité d'adapter le mode de raisonnement économique ainsi que ces instruments aux connaissances des phénomènes biologiques et physico-chimiques dans leurs

relations avec les activités humaines. En effet, pour aborder, par exemple, le problème de la pollution ou de l'érosion, les économistes utilisent le plus souvent des grandeurs monétaires et ceci par l'établissement des relations entre les coûts et les profits des activités agricoles et les coûts de la pollution et de l'érosion. Des grandeurs qui restent malheureusement très simpliste face à l'extrême complexité des relations de l'homme avec son environnement naturel.

La démarche bio-économique, dont la construction et la conception sera développée dans la partie suivante, consiste à utiliser un modèle biophysique capable de construire des fonctions de production "d'ingénieur", en simulant les rendements, l'érosion du sol, la production d'émissions polluantes par l'emploi d'une grande diversité de techniques et sous différentes conditions climatiques et pédologiques. Les informations ainsi obtenues par le modèle biophysique seront intégrées, par la suite, dans un modèle économique qui à son tour sera utilisé d'une part, pour évaluer les effets des politiques et des instruments économiques existants aussi bien sur l'avenir économique des exploitations agricoles que sur la ressource sol et, d'autre part, de présenter une politique basée sur la proposition d'un cahier de charges conditionnant les subventions au respect d'un code de bonnes pratiques (éco-conditionnalité) qui s'avère une politique très efficace intégrant les grandeurs à la fois physiques et monétaires.



DEUXIEME PARTIE :
LA CONSTITUTION DU MODELE
BIO-ECONOMIQUE : DE LA THEORIE
A LA PRATIQUE

CHAPITRE 1. LA REGION DE ZAGHOUAN (TUNISIE) COMME DOMAINE D'ETUDE : CARACTERISATION ET TYPOLOGIE DES EXPLOITATIONS

Introduction

Dans tout travail de recherche, le passage de la théorie à la pratique pose un grand nombre de problèmes qui ne sont pas toujours facile à résoudre étant donné l'inapplication de certaines théories dans la pratique (absence du bon contexte) ou la divergence et l'inharmonie entre la théorie choisie et le terrain d'application. Le présent travail, portant sur la problématique de la relation agriculture-environnement et basé sur l'approche bio-économique, nécessite la recherche d'un terrain où cette problématique est prépondérante et où la disponibilité des informations indispensable à cette approche n'est pas contraignante. Afin de répondre à ces exigences nous avons choisi d'appliquer ce travail à une région tunisienne que l'on connaît assez bien.

La problématique de la relation agriculture-environnement est posée dans tous les pays du monde avec plus ou moins d'acuité selon le niveau de développement. Dans les pays de la Méditerranée, dont la Tunisie, cette problématique constitue constamment, plus encore qu'ailleurs, le centre de préoccupations de la société du fait de la sécheresse estivale et de l'importance des phénomènes d'érosion et de désertification.

Cependant, avant de se lancer dans la présentation de la région d'étude, il serait utile de donner une idée globale sur l'ampleur du problème de l'environnement naturel en Tunisie ainsi que sur les politiques mises en œuvre pour tenter de l'atténuer.

1. L'environnement naturel en Tunisie : un espace menacé

Depuis l'aube de l'histoire humaine jusqu'à nos jours, l'eau et le sol en Méditerranée, plus encore qu'ailleurs, constituent constamment le centre de préoccupations de la société du fait de la sécheresse estivale et de l'importance des phénomènes d'érosion et de désertification.

Les préoccupations relatives à l'environnement naturel sont devenues, aujourd'hui, de plus en plus accrues étant donné l'augmentation démographique et l'accroissement des besoins qui ont entraîné en cette fin de siècle une pression accrue sur les deux principales ressources eau et sol et ont modifié irrémédiablement

leur utilisation. Elles sont ainsi devenues pour la plupart des pays méditerranéens, dont la Tunisie, le facteur limitant de leur développement et, par conséquent un enjeu majeur au plan économique, social et politique.

En dépit des performances réalisées par l'économie tunisienne depuis l'indépendance, la Tunisie se trouve confrontée à un défi environnemental majeur dont l'agriculture est à la fois victime et responsable.

En effet, la pratique agricole notamment l'utilisation des eaux, des engrais et des pesticides, en combinaison avec l'agressivité du climat, le relief caractérisé par des pentes fortes, la nature du sol, contribuent à une dégradation des ressources de ce pays où la croissance économique va désormais de pair avec le bien-être des générations présentes et futures. Cette dégradation est marquée essentiellement par deux phénomènes majeurs : la rareté de l'eau et l'agression du sol.

Concernant les ressources en eau, elles sont généralement rares et quand elles sont disponibles, elles sont menacées par la salinité, les risques de pollution et le gaspillage. Quant à l'agression du sol, on distingue trois types d'agression : la désertification, l'érosion hydrique et l'urbanisation.

En effet, malgré les efforts considérables déployés depuis 40 années dans la mobilisation des ressources hydriques du pays, la Tunisie connaîtra, à court terme, une situation de pénurie en eau. Il suffit pour s'en convaincre de comparer le potentiel hydrique utilisable, qui est de l'ordre de 500 m³/an/habitant, à la valeur de 1000 m³ considérée comme un minimum annuel indispensable à la satisfaction des besoins de chaque individu (FAO, 1993). S'ajoute à cela le risque permanent d'un appauvrissement du patrimoine sol très menacé par l'érosion sur les terres en pente, consécutif à l'agressivité des précipitations orageuses fréquentes en climat méditerranéen ainsi qu'à l'évolution rapide de l'environnement socio-économique qu'a connu le monde rural les dernières décennies, et qui a entraîné :

- Un défrichement considérable de certaines zones marginales et de parcours, et leur mise en culture pour répondre aux besoins d'une population sans cesse croissante ;
- Une surexploitation des terres de parcours restantes entraînant leur fragilisation ;
- Une utilisation inadéquate des pratiques culturales (labours dans le sens de la pente, dégradation de la structure du sol, etc...) liée en grande partie à la mécanisation des activités agricoles ;
- Une multiplication du phénomène d'exode rural qui, en favorisant le départ des ruraux vers les villes, a exposé les terres, jadis cultivées, aux caprices de l'érosion ;

- Une absence totale d'une politique de suivi et d'entretien des efforts fournis par la première stratégie de conservation des eaux et du sol. Résultat : les réalisations accomplies, à défaut d'entretien, se sont dégradées au fil des ans.

Cependant, si l'érosion n'est pas un phénomène nouveau en Tunisie, elle revêt, d'une année à l'autre, une intensité de plus en plus inquiétante. Actuellement, elle menace plus de 3 millions d'hectares de terres dont la moitié est gravement touchée, ce qui nécessiterait une intervention rapide (cf. tableau.2.1). Elle est également responsable, d'une part, de la diminution de la fertilité des terres et des rendements des cultures, et d'autre part, de la pollution de l'environnement, en raison de la pollution des eaux par les sédiments, et celle de l'air par les poussières éparpillées chaque année.²¹

Ainsi, la répartition des superficies érodées, dégagées à partir de la carte de l'érosion de la Tunisie septentrionale, se présente comme suit :

Tableau.2.1 Répartition des terres affectées par l'érosion dans le Nord-Centre de la Tunisie (en %)

Type d'érosion	Z.collecte des eaux	Z.d'épandage	Zones très affectées	affectées d'érosion moyen	par différentes en % de la S.A.T peu	formes total	Erosion globale
Nord-Est	8.5	6.5	6.0	3.0	20	29	44
Nord-Ouest	17.5	0.5	13.0	21.0	26	60	78
Centre-Est	2.0	13.0	1.0	7.0	30	38	52
Centre-Ouest	12.0	2.0	4.5	19.5	30	54	68
Total	9.5	5.5	5.5	13.5	28	47	62

Source: Rapport de la D/CES (1994).

En ce qui concerne le Sud tunisien où les données cartographiées relatives à l'érosion hydrique sont insuffisantes, on estime que la majorité de ces terres est fortement affectée par l'érosion.

Par conséquent, lutter contre l'érosion n'est rien d'autre qu'assurer l'avenir agricole du pays. Un développement agricole durable ne peut avoir lieu si les ressources naturelles (eau, sol) ne sont pas conservées.

II. Politique tunisienne de conservation des ressources naturelles

²¹ Ministère de l'Agriculture, VIII^{ème} Plan du Développement Economique et Social (1992-1996), Développement Agricole et Sécurité Alimentaire, août 1992.

Détentrices d'une longue expérience en matière de lutte contre la détérioration des ressources sols et de gestion des ressources en eau, la Tunisie met aujourd'hui en oeuvre d'importants programmes de recherche et de formation pour la sauvegarde de ces ressources. Ces programmes s'inscrivent dans le cadre d'une stratégie nationale pour un développement durable, et en conformité avec les principes de la conférence de Rio de 1992, intégrant à la fois les dimensions économiques, écologiques, sociales et culturelles, et tenant compte des défis de la mondialisation.

Ces programmes publics, émergeant d'une intégration des politiques agricoles et environnementales, visent essentiellement la protection des terres, l'amélioration de la productivité, la reconstitution de la fertilité, la maîtrise correcte des ressources agricoles et le maintien de l'équilibre régional afin de satisfaire les besoins humains au fur et à mesure qu'ils évoluent. Ils cherchent à remplir les trois fonctions de l'Etat, à savoir l'allocation optimale des ressources rares, la distribution des patrimoines et la stabilisation des conjonctures. La justification de cette intervention publique est expliquée par le fait que le seul mécanisme de marché devient insuffisant et inadéquat pour l'assignation optimale des ressources rares. En effet, les agents économiques privés agissent en fonction de leurs propres intérêts immédiats indépendamment des considérations relatives aux générations futures, à l'utilisation de ces ressources et à la capacité de récupération et de conservation des moyens naturels de production.

Cette politique se traduit essentiellement par la réalisation et le développement des techniques de conservation des eaux et du sol. Ces techniques varient du nord au sud suivant les conditions pédoclimatiques, elles reposent sur le principe de récolte des eaux de ruissellement dans le sud et le Sahel par l'intermédiaire des "*Meskats*" et des "*Jessours*", sur le principe de l'épandage des eaux de crues en Tunisie centrale et enfin sur le principe de lutte contre l'érosion dans le nord du pays en utilisant les techniques appropriées (Achouri A., 1992).

Pour atteindre ces objectifs, la direction générale de la C.E.S. a mis en place, au cours de la décennie 1990-2000, une stratégie qui intéresse en priorité les zones du pays les plus menacées par la dégradation des sols et privilégie deux dimensions essentielles, c'est-à-dire :

- La conservation des ressources naturelles, en luttant contre toute forme de dégradation quantitative et en promouvant les pratiques de gestion rationnelle et d'utilisation durable de ces ressources.
- La préservation de la qualité de ces ressources considérées comme élément de compétitivité économique et sociale en luttant contre toute forme de détérioration et

de contamination.

À la fin de l'année 1999, les réalisations de cette stratégie se manifestent essentiellement par :

- l'aménagement de 517.000 ha de terres à vocation céréalière par des techniques douces de C.E.S. ;
- la construction de 409 lacs collinaires et de 1368 ouvrages d'épandage des eaux de crues et de recharge des nappes ;
- la sauvegarde des terres déjà aménagées sur 223.000 d'hectares.

III. La région de Zaghouan : spécificités et typologie des exploitations

Le besoin de centrer l'analyse au niveau méso-économique, en particulier régional, par la présentation d'un modèle d'équilibre partiel nous amène à restreindre l'étude à un cas bien déterminé sans que cela implique pour autant une perte de représentativité du travail. Cette tâche est pourtant très délicate malgré la relative homogénéité du phénomène d'érosion dans toutes les régions. En effet, il faut se limiter à une région où ce phénomène est important et où l'accès à l'information ne sera pas contraignant afin de bien déceler les effets qui lui sont assignés.

Le cadre retenu dans le présent travail est la région de Zaghouan d'une superficie de 287 562 ha, située au nord-est de la Tunisie dans l'étage bioclimatique "semi-aride supérieur et moyen" avec une pluviométrie moyenne comprise entre 350 et 450 mm (Elloumi M., 1991). Elle est limitée (cf. carte n°1) au Nord par le gouvernorat de l'Ariana, au Nord-Est par les deux gouvernorat Ben Arous et Nabeul, au Nord-Ouest par le gouvernorat de Béja, à l'Est par le gouvernorat de Siliana et au Sud par celui de Kairouan.

III.1 Monographie de la région

III.1.1 Milieu naturel

La région de Zaghouan est composée par quatre zones naturelles à savoir (Dhaou, 1995):

* Une zone Nord : constituée par des plaines de Fahs et de Smindja traversées par le principal Oued de la région qui est l'Oued Kebir-Miliane. Ce réseau hydrographique constitue la principale partie de la stratégie de mobilisation des eaux de surface (construction des barrages, lacs colinéaires, etc...). Cette zone est réservée en particulier aux grandes cultures qui couvrent environ 65 000 ha soit 23%

de la superficie totale.

* Une zone centrale : formée d'un traçons de la dorsale tunisienne comprenant principalement Djebel fkirine (985 m d'altitude), Bent Saïden (818 m d'altitude) et le grand pic de Zaghouan (1295 m). Elle est constituée par la plus grande réserve forestière qui couvre environ 60 000 ha soit 21% de la superficie totale.

* Une zone Est : formée par l'alternance de plaines et de coteaux dont on peut citer les plaines de Zaghouan, Oued Errebh, Bouachir et les coteaux de Jradou et Aïnbattra. Cette zone est à vocation mixte de grandes cultures, d'olivier, de réserves fourragères sur pieds couvre environ 90 000 ha soit 32% de la superficie totale.

* Une zone Sud et Sud-Ouest : comprend surtout des parcours et des plaines à céréales secondaires couvrant 72 562 ha soit 24% de la superficie totale.

III.1.2 Climatologie

*** Pluviométrie**

La région de Zaghouan appartient à l'étage semi-aride moyen caractérisé par une pluviométrie annuelle de 330 mm avec des variations assez fortes allant de 200 mm à 500 mm. Ces pluies sont réparties sur l'hiver et l'automne.

*** Température**

Les valeurs des températures montrent une forte irrégularité inter-annuelle ainsi qu'inter-saisonnière, en effet, les écarts relevés sont de l'ordre de 35°C. Ceci nous permet de distinguer :

- Une saison douce qui commence en septembre et finit en mai ;
- Une saison sèche et chaude qui comprend généralement la période d'été.

*** Vent**

Les vents dominants sont ceux du Nord-Ouest, froids et humides en hiver, chauds et secs en été.

III.1.3 Le relief et le sol

La région de Zaghouan présente une diversité des sols résultants de la combinaison d'une topographie variée (terrain accidenté en partie), d'une roche mère de nature très variable et d'un climat contrasté. Ces sols se répartissent dans l'espace suivant une certaine complexité en fonction de leurs situations dans le top séquence : flancs de montagnes ou collines, les versants, les glacis et les plaines.

Les différentes classes de sols rencontrés dans la région sont : les sols calcimagnésiques, les vertisols, les sols isohumiques, les sols peu évolués, les sols minéraux bruts, les sols à sesquioxydes, les sols hydromorphes, les sols halomorphes et les unités de sols complexes. De ces sols, nous avons sélectionné uniquement les quatre premiers étant donné leur importance dans la région et leur

bonne aptitude culturale.

- les sols calcimagnésiques : ces sols sont très bien représentés dans toute la région aux niveaux des glacis. Le pédoclimat de la région est favorable à leur formation et on les rencontre souvent sur les roches mères calcaires. Cette classe englobe les sols dont le profil est de type AR, A(B)R ou A(B)C. L'horizon de surface est de couleur brune, de texture équilibrée fortement calcaire et de structure fine à grumeleuse fine. Leur teneur en matière organique est faible et ils peuvent présenter une accumulation de carbonates ou de sulfates. Ces sols s'adaptent aux cultures annuelles et aux arboricultures résistantes surtout au calcaire.
- les vertisols : ce sont des sols qui se présentent toujours en très faible pente ou en position de cuvettes mal drainées. Les marnes forment très souvent la roche mère de ces sols. Leurs caractéristiques principales sont la dominance d'argiles gonflantes et la présence, en faible qualité, d'une matière organique fortement liée à la fraction minérale. Ces sols sont profonds et capables d'emmagasiner des quantités d'eau importantes. Sous l'irrigation, ils exigent certains travaux de drainage, si ce dernier fait défaut, il y a risque de salinisation et/ou d'hydromorphie. Leurs aptitudes culturales sont surtout les grandes cultures.
- les sols isohumiques : ce sont des sols dont la partie supérieure du profil est imprégnée d'une façon légèrement décroissante par la matière organique. Ils se présentent généralement au niveaux des plaines et en pente douce et occupent des superficies réduites mais on les trouve très fréquemment comme sols enterrés. Ils sont souvent de texture moyenne et rarement de texture fine. En profondeur, on constate des signes d'hypotrophie ou de salure, d'alcalisation ou d'accumulation de calcaire ou de gypse. Ces sols s'adaptent bien aux cultures annuelles et aux arboricultures fruitières.
- les sols peu évolués : ils sont rencontrés partout dans la région dans la zone de plaine et les terrasses d'oueds sous forme de sédiments, déposés après les grandes crues. Ils se forment sur un matériau minéral d'érosion ou récemment mis en place d'apport. Ce sont des sols dont la matière organique n'a subi qu'une légère altération et seules la dégradation et la fragmentation par les phénomènes climatiques peuvent être possibles. La texture est plus fine lorsque la roche est marneuse ou argileuse et certains caractères d'hydromorphie, de vertisolisation ou la salinisation peuvent apparaître. Ces sols s'adaptent uniquement aux cultures annuelles.

L'évolution de ces sols, mis à part ceux des plaines où il y a parfois les phénomènes de salinisation et /ou d'hydromorphie, montre qu'ils évoluent vers une dégradation plutôt qu'une génération étant donné que cette dernière est empêchée par un relief

accidenté et formé de fortes pentes favorisant l'érosion hydrique sous l'agressivité des averses caractérisant la région.

Ces différents sols se répartissent aussi en fonction de la topographie et de la pente. Si, sur l'ensemble de la région, presque la moitié de la superficie présente une pente inférieure à 2%, les zones en pente modérée et les djebels se concentrent sur les imadas²² de Bir M'cherga et de Ghrifet alors que les régions plaines se trouvent essentiellement dans l'imada de Smindja et dans la partie de l'imada de Ghrifet qui appartient à la plaine de Fahs.

III.2 Environnement socio-économique de la région

III.2.1 Structures agraires

Du point de vue des structures agraires, la région de Zaghouan présente une certaine diversité qui témoigne de la forte empreinte de la colonisation française qui lotit la plaine pour les grandes exploitations et refoula les petits exploitants sur les collines. Il en a résulté une répartition très déséquilibrée de la terre avec une concentration de la superficie agricole entre les mains des grands exploitants et dans le secteur domanial héritier des exploitations coloniales qui occupe 46662 ha soit 16% de la superficie totale de la région.

Dans le secteur privé, l'analyse de l'évolution des structures agraires montre que ces derniers restent caractérisées par une très forte inégalité dans la répartition de la terre. En 1961-62, moins de 1,5% des agriculteurs exploitaient 25,9% des superficies, alors que 82,9% n'en cultivaient que 35,3%. En 1989, 1% exploitent 24% des terres, alors que 85% doivent se partager 38% des superficies. En 1991, 3% des exploitants occupent, avec des exploitations de plus de 200 hectares, 35% des terres, alors qu'à l'autre extrémité, la moitié des exploitations ont moins de 10 ha et n'occupent que 8% des terres agricoles. Cependant, on ne note pas un renforcement du processus de concentration foncière (Elloumi M., 1991).

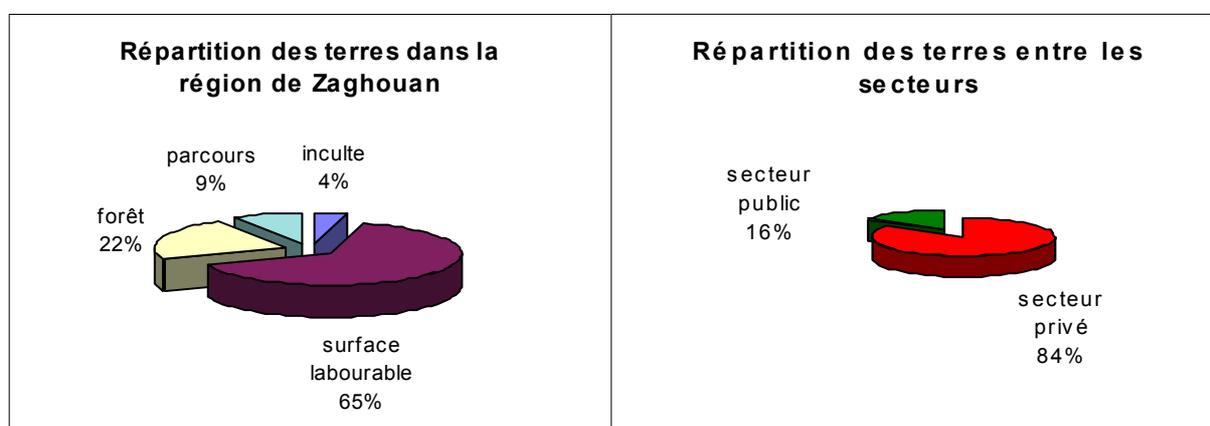
Ces terres privées ont plusieurs statuts. Les terres "habous" issues de biens privés (Melk) données dans un but pieux par un musulman à des confréries religieuses. Toutefois, malgré une nationalisation décrétée à l'indépendance, elles sont exploitées par des particuliers sans titre officiel en raison de difficultés d'ordres juridiques, techniques et financières. L'absence de titre de propriété individuelle rend l'occupation des dévolutives aléatoire et amène ces derniers à réduire les investissements pour pratiquer une agriculture extensive.

²² Imada : la plus petite unité administrative.

En outre, dans le cadre d'une réforme financière et sous prétexte d'insuffisance ou d'absence de rentabilité économique des terres domaniales, l'Etat a introduit des nouvelles formules dans la gestion de certaines de ces terres concrétisées par la création de sociétés de mise en valeur et de développement agricole (24 SMVDA) et l'installation de jeunes techniciens (des lots de techniciens répartis sur 16380 ha).

III.2.2 Activité agricole

Sur un total de 287 562 ha des terres qui couvrent la région de Zaghouan, 186 882ha sont labourables soit 65%, le reste est formé par des forêts (64 231ha), des parcours (24 449ha) et des terres incultes (12 000ha). Avec 275 562ha de surface agricole utile, cette région représente à peu près 6% du potentiel national de production agricole (CNEA, 1996).



Source : CNEA (1996)

L'activité agricole dans cette région est dominée par les spéculations extensives (céréaliculture et élevage) fortement soumises aux aléas climatiques. L'arboriculture fruitière, les légumineuses et les cultures maraîchères sont relativement moins représentées.

III.2.2.1 Les grandes cultures

Comme c'est le cas pour toutes les régions du pays à climat semi-aride fortement soumises aux aléas climatiques, le gouvernorat de Zaghouan représente une part importante des superficies à potentiel céréalier et à production très irrégulière.

Intégrées dans un assolement dominant biennal (céréales-jachère travaillée), les céréales occupent en moyenne une superficie de 83 000 ha (55% des terres assolées), et contribuent à 6,38% de la production nationale. Les cultures fourragères et les légumineuses occupent une aire relativement moins importante.

Quant à la jachère, pratiquée généralement en tête d'assolement, elle est évaluée à environ 35% des terres labourables, soit 39% des terres nues et assolables. La jachère est ainsi toujours présente et presque à 80% travaillée. L'année de jachère est presque toujours suivie de blé, et de manière prioritaire par le blé dur qui a une place éminente. La pratique de céréales secondaires ou de légumineuses succédant à la jachère est une option pratiquement limitée.

Les céréales sont dominées par la culture de blé et de l'orge. Toutefois, devant une variation apparente faible des superficies céréalières au cours de la dernière décennie, on peut noter l'augmentation de la superficie des variétés de blé à haut rendement qui est passée de 22000 ha en 1984 à 42 000 ha en 1991 pour le blé dur et de 9000 ha en 1984 à 16 000 ha en 1993 pour le blé tendre. Cela s'observe notamment dans les grandes exploitations et les coopératives.

Les agriculteurs de la région ont tendance à utiliser les variétés Karim (60%) et Razeg (35%) plus que la variété Khiar (5%) pour le blé dur. Pour le blé tendre, la variété Salambo (80%) est demandée plus que la variété Birsa (20%). Pour la culture de l'orge, la demande est identique aussi bien pour la variété Rihane que Martin. Ces variétés s'adaptent bien aux conditions climatiques des régions semi-arides.

III.2.2.2 L'arboriculture

L'arboriculture occupe la troisième place après les céréales et l'élevage dans la valeur de la production agricole de la région et contribue pour environ 3% à la production nationale. Elle bénéficie du soutien de l'Etat par la mise en place de nombreux projets visant l'amélioration de la productivité des arbres fruitiers et la création de nouvelles plantations.

Cette activité qui occupe une superficie de 35 600ha est dominée essentiellement par les oliviers qui couvrent environ 31 450ha soit 89% de la superficie arboricole.

Outre sa rusticité, l'olivier est sollicité pour son extrême plasticité. En effet, c'est l'espèce qui permet de faire les bénéfices les plus réguliers en particulier pour celle qui ait une quantité d'eau suffisante. Toutefois, on note que pour les plantations conduites en extensif, la densité de plantation adoptée varie de 100 à 200 pieds par hectare ; cette variabilité est liée à la nature de l'espèce et à son emplacement géographique. Les variétés d'olivier les plus souvent rencontrées sont représentées par le chetoui, le Meski, Chemlali et Sahli, qui s'adaptent bien aux conditions climatiques de la région.

Outre l'oléiculture, on rencontre l'amandier qui occupe la deuxième place du point de vue superficie. En effet, avec une densité moyenne de 100 pieds/ha, ces plantations s'étendent sur 3 835ha dont au moins 2 300 ha d'arbres sont en production. Les jeunes plantations sont d'âge variant de 6 à 8 ans.

Par ailleurs, la production enregistrée au niveau de ces deux espèces arboricoles a connu une augmentation remarquable au cours de la dernière décennie résultant d'une meilleure utilisation de la fertilisation.

Concernant, le secteur de l'arboriculture fruitière conduite en irrigué, il n'a pas encore connu un essor important notamment pour les espèces à pépins du type pommier-poirier vu les limites naturelles imposées sur le plan hydrique et édaphique. Sur 1 322 ha des plantations conduites en irrigué, 950 ha uniquement sont considérés effectivement irrigués. Les plantations autres que le pommier-poirier, vigne de table et agrume sont dans la plupart des cas conduits en irrigation d'appoint. Ces plantations à des densités variant de 300plants/ha pour les agrumes à 500 ou 600 plants/ha pour les espèces à pépin sont installées en majorité soit dans la zone de plaine soit au niveau des zones à piémont.

Les variétés les plus utilisées sont représentées par le Golden Delicious, Anna et Star Krimson pour le pommier, Williams et Alexandrine pour le poirier, Muscat d'Italie pour la vigne et Meski pour l'olivier de table.

III.2.2.3 Les cultures annuelles irriguées

La pratique des cultures maraîchères est une activité en grand développement (52% des cultures annuelles conduites en irrigué) surtout au niveau des exploitations disposant d'une source d'irrigation. En conformité avec les ressources en eau actuellement mobilisées, ces cultures occupent 2 140 ha représentés à 70% par le maraîchage d'été et à 20% par le maraîchage d'hiver ainsi que d'autres cultures. Le maraîchage d'arrière saison est très peu représenté dans la région.

Le maraîchage d'hiver, faiblement enregistré au niveau de la délégation du Fahs, de Zriba et de Saouaf, est plutôt cultivé au niveau des périmètres créés autour des puits de surface. Le choix des cultures est généralement orienté vers les carottes, les navets, l'ail et l'oignon, le fenouil et les légumineuses.

Les principales familles de cultures maraîchères pratiquées dans la région sont ventilées comme suit :

- les cucurbitacées : 25%

- les solanacées : 45%
- les liliacées : 09%
- autres types : 11%

Du point de vue importance, les solanacées sont dominées par la culture de la tomate, la famille des cucurbitacées est représentée par la culture de la pastèque dont presque 65% pratiqués en cultures de saison.

En outre, comme l'indique le tableau d'occupation du sol, sur 2 140 ha exploités en cultures maraîchères, 828 ha se trouvent associés à l'olivier. Cette association en intercalaire s'explique de part le manque de la superficie suffisante pour réaliser l'assolement adéquat, par la présence du périmètre au niveau des zones oléicoles.

III.2.2.4 L'élevage

Le secteur de l'élevage occupe la deuxième place dans l'économie de la région en fournissant en moyenne 30% de la valeur de la production agricole et contribue au niveau national de 6,3% en viandes et 1,7% en lait.

Le cheptel de rente est basé sur les ovins, les caprins et les bovins. En 1997, la région compte 174 000 ovins, 21 000 caprins et 12 350 bovins. Au cours des dernières années, l'effectif des animaux n'a cessé d'augmenter en particulier celui des ovins (cf. tableau.2.2).

Cependant, l'évolution récente des effectifs montre une certaine reprise de l'effectif ovin et une stabilité de celui des caprins et ce, suite aux conditions alimentaires relativement favorables et aux politiques de sauvegarde du cheptel.

Tableau.2.2 Evolution de l'effectif élevage dans la région de Zaghouan

Espèce	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Ovine	114 464	128 000	158 000	162 000	157 000	162 700	172 000	174 000
Bovine	8 393	7 670	7 200	8 150	8 340	11 960	12 350	11 900
Caprine	16 931	19 600	20 000	20 000	19 500	20 000	20 000	21 000

Source : *Rapports d'activités*

Les stratégies de développement, avancées par le commissariat régional de développement agricole, tendent à augmenter l'effectif ovin et bovin respectivement à 190 000 et à 30 000 en l'an 2001. Il faut noter que les bovins de race pure, qui représentent 17,5% de l'effectif bovin, se trouvent dans les U.C.P. et les S.M.V.D.A. L'augmentation prévue de cheptel va doubler la production laitière actuelle, qui est

de l'ordre de 8000 tonnes. En ce qui concerne la production de viande, le gouvernorat exporte presque la moitié de son produit vers les autres régions du pays.

En plus de l'élevage de ruminants qui constitue l'ossature du secteur de la production animale, la région dispose d'une capacité de production avicole industrielle qui assure son autosatisfaction en viande et couvre la moitié de ses besoins en oeufs de consommation ainsi que d'un élevage apicole et cunicole considérable qui a connu un développement appréciable au cours des dix dernières années.

III.3 Typologie des exploitations agricoles

Pour mieux caractériser les principaux systèmes de production, relatifs à cette région, plusieurs travaux d'enquêtes, à travers un échantillon recoupant l'ensemble des zones homogènes, ont été menés par des multiples groupes de recherche (INRAT, CNEA, etc.).

Pour le présent travail, nous allons nous appuyer sur la typologie réalisée, dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire, par le Centre National d'Etude Agricole au cours des deux campagnes agricoles 1995/1996 et 1996/1997. Les raisons de ce choix sont justifiées par le fait que les critères de typologie adoptés tiennent compte notamment de la structure foncière présentée par les responsables des institutions agricoles, du système de culture, du mode de culture, de la présence de l'élevage, du problème d'érosion et de la proximité des parcours et de la forêt, des critères qui s'adaptent bien avec notre méthodologie et nos objectifs de travail.

Renforcés par des entretiens auprès des responsables des Cellules Territoriales de Vulgarisation, les chercheurs de CNEA ont pu retenir 12 groupes d'exploitations regroupées en trois grands systèmes de culture : monoculture en sec, polyculture en sec et polyculture en sec et en irrigué.

Sachant que cette typologie a été faite uniquement sur le secteur privé (84%), ses résultats globaux montrent que quel que soit le système de production pratiqué dans la région de Zaghouan, la pratique des céréales et la présence de l'élevage ovin occupent une position centrale dans l'organisation de l'exploitation.

Toutefois, vu le nombre important de ces groupes nous avons essayé de le restreindre en sept seulement sans que cela implique pour autant une perte de

représentativité du travail et sans mettre en cause la méthodologie fondée sur l'homogénéité avancée par Day en 1963. Les principales caractéristiques relatives à l'ensemble de ces groupes vont être détaillées ultérieurement.

En outre, afin de bien affiner ces groupes d'exploitations, nous allons essayer de mettre en oeuvre des enquêtes complémentaires et ceci à raison de deux enquêtes par type.

III.3.1 Le secteur domanial

La région de Zaghouan comporte un secteur domanial important qui occupe 16% de la surface agricole utile totale. Ce secteur comprend trois types de structures, les sociétés de mise en valeur et de développement agricole (SMVDA), les unités coopératives de production agricole (UCPA) et les fermes de l'office de l'élevage et de pâturage.

Ce secteur occupe aussi bien les zones de plaine, le système de production le plus souvent dominant est basé sur la polyculture en sec associé au développement agropastoral. Au niveau des sociétés de mise en valeur, on assiste au développement du secteur irrigué (intensification des cultures).

En outre, à côté de ces trois types de structures, une superficie couvrant 16380 ha et faisant partie du secteur domanial a été affectée à d'autres attributions du type lot technicien. Cette superficie est considérée ultérieurement au niveau du secteur privé.

L'attribution des terres domaniales aux techniciens agricoles vise l'amélioration de la productivité de ces terres. Le déroulement de cette expérience se fait malheureusement avec beaucoup de difficultés : inadaptation des modèles de développement proposés, problèmes de financement, contraintes liées aux caractéristiques des terres attribuées (sols peu fertiles, faible superficie), etc.

L'occupation du sol détaillée relative à ce secteur est présentée dans le tableau suivant :

Tableau.2.3 Répartition du secteur domanial

	Inculte	Parcours	Forêt	Cultures en sec	Cultures irriguées	Jachère	Total
S.M.V.D.A							
El Farha	15	103	-	1047	-	65	1230
EL jamal	-	6	182	1006	8	112	1368
Essouinet I	-	-	30	325	16	281	661
Essouinet II	-	104	124	430	40	18	716
Aïn Babouch	-	70	67	820	60	45	1062
Aïn Essfaya	-	-	-	519	3	314	836
Ksar El Oglia	8	-	-	696	-	52	756
El Khadra 1	2	34	-	293	-	94	423
El Khadra 2	1	-	-	500	5	24	530
Echabab	54	30	-	794	-	12	890
El Ked 1	11	-	-	274	5	-	285
El Ked 2	30	-	-	611	-	16	657
Ettahadi	32	-	-	902	40	180	1134
El Jala	60	-	-	434	45	100	640
Essafa 1	10	70	-	676	15	21	792
Ezzahra	5	245	-	682	-	-	932
El Kawakib	5	18	-	220	18	361	630
Oued El Khil	10	-	-	829	63	-	902
EL Marja	-	-	130	-	-	510	640
Errouki	60	-	-	66	-	7	744
Essouani	3	-	-	293	15	-	311
El Amel	18	-	-	364	4	-	386
ELwefak	-	17	-	340	121	69	547
Essaada	28	17	50	921	-	45	1061
El Faouz	8	322	40	417	-	-	787
U.C.P.A							
El fersine	50	185	160	948	-	81	1424
Aïn Saboun*	44	-	234	1287	2	328	1895
Sidi Massoud*	30	191	9	744	25	184	1183
Bou Slim	46	351	60	964	23	81	1514
O. Errebh* *	62	109	600	783	32	305	1891
Bou Achir	30	905	525	1042	5	16	2523
Aïn faouara	-	519	326	829	2	450	2126
Aïn Batria	30	246	489	948	3	238	1954
O. Kinz*	72	200	425	643	-	200	1540
Autre	-	-	-	8603	-	-	8603
Fermes de							
L'O.E.P.							
Saouaf	2	224	555	331	-	488	1600
Djibibina	10	431	470	321	-	258	1490
Total	736	4397	4476	31548	550	4955	46662

Source : enquêtes CNEA

Pour représenter et modéliser ce secteur, nous avons sélectionné deux exploitations agricoles types en tenant comme hypothèse que les exploitants de chaque structure ont des stratégies de production presque identiques. Cette hypothèse peut être légitimée par le fait que les PDG des sociétés de SMVDA ont presque tous la même stratégie dans ce contexte régional limité, quant aux directeurs des fermes, ils font

* Ils sont en étude pour une privatisation soit sous forme de lots techniciens ou de SMVDA.

partie du même Office et leurs stratégies sont par conséquent centralisées et identiques. Ainsi, la ferme Saouaf a été retenue pour représenter les fermes de L'OEP et la société Elwefak pour symboliser les sociétés de mise en valeur et de développement agricole (SMVDA) et les unités coopératives de production agricole (UCPA) étant donné que ces dernières seront transformées et privatisées sous forme des sociétés (SMVDA).

III.3.1.1 Les fermes de l'Office d'Elevage et de Pâturage : cas de la ferme Saouaf (EPU)

Suite à la réorganisation des terres domaniales en 1970, les coopératives agricoles sont dissoutes pour donner naissance à des organismes étatiques (UCPA) ou para-étatiques (les fermes). Dans la région de Zaghouan, deux fermes sont ainsi retenues sous la tutelle de l'Office d'Elevage et de Pâturage qui sont la ferme Saouaf et Djibibina.

Les principaux secteurs d'activités de ces deux fermes qui occupent une superficie importante de l'ordre de 3090ha, sont essentiellement l'élevage ovin intensif accompagné d'une activité végétale dont la base est la céréaliculture. Les grandes lignes stratégiques de ces deux fermes sont centralisées et proviennent de l'Office tout en laissant un degré de liberté pour le directeur et le chef d'exploitation dans le choix du système de production. Cette spécificité nous a permis de réduire le travail uniquement à la ferme Saouaf pour représenter ce groupe dans notre modèle économique.

La ferme Saouaf, d'une superficie de 1600 ha, relève territorialement de la délégation de Saouaf. Elle a été choisie par le Ministère de l'Agriculture dans le cadre du développement et de l'amélioration de la productivité des zones semi-arides par les travaux de C.E.S. comme site d'expérimentation et de démonstration des mesures anti-érosives.

Comme pour toute exploitation de polyculture-élevage, le système de production de la ferme Saouaf repose sur la combinaison de deux activités principales orientées essentiellement vers le marché : l'élevage ovin et la céréaliculture.

III.3.1.1.1 Production végétale

L'analyse de l'évolution de l'occupation du sol à la ferme Saouaf marque une augmentation importante de la surface agricole utile qui passe de 1150 ha en 1982 à 1450 ha en 1998 soit 26% d'augmentation. Cette évolution est due essentiellement à une amélioration de la superficie inculte par l'introduction de nouvelles espèces fourragères et la plantation des arbustes fourragers.

Tableau.2.4 Evolution de l'occupation du sol

Année	1982-1988		1989-1991		1992-1998	
	Composantes		Superficie		Superficie	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Surface agricole totale "S.A.T"	1600	100	1600	100	1600	1450
Surface agricole utile "S.A.U"	1500	71	1390	86	100	90
Surface agricole cultivée "S.A.C"	1150	-	1280	-	1340	-
Terres labourables	1150	-	970	-	855	-
Terres assolées	1110	-	930	-	800	-
Terres non assolées	40	-	40	-	55	-
Parcours améliorés	0	-	420	-	595	-
Terres incultes	450	29	210	14	150	10

Source: *Rapports d'activités (1982-1998)*.

En outre, l'examen de l'évolution du plan d'assolement et de rotation de cette exploitation montre le passage d'un assolement du type céréales-jachères travaillées à un autre du type médicago-céréales qui s'adapte aux conditions climatiques difficiles et aux sols peu fertiles. Le choix a été fait sur le médicago, étant donné qu'il offre la possibilité d'être mis en double exploitation comme pâturage direct avec une production de semence. De même, comme pour toutes les exploitations semi-arides, les rendements de toutes les cultures sont très fluctuants. Cette fluctuation est liée essentiellement aux conditions climatiques et, en particulier, à la pluviométrie qui sont très variables. Cependant, l'analyse de l'évolution des rendements montre une légère amélioration des rendements pour les cultures de céréale qui peut être expliquée par :

- La meilleure valorisation des faibles quantités de pluies et la reconstitution progressive de la couche arable induite par les aménagements conservateurs des eaux et du sol ;
- L'introduction du médicago dans l'assolement qui se traduit par l'enrichissement du sol en azote et en matière organique ;
- L'utilisation plus intensive des intrants ;

- La réalisation des opérations culturales à temps grâce à la disponibilité du matériel.

III.3.1.1.2 Production animale

L'augmentation des disponibilités fourragères et l'amélioration de la qualité des fourrages et des conduites sanitaires ont donné naissance à une augmentation de l'effectif de la race barbarine qui est passée de 900 têtes en 1987 à 2569 en 1998, soit 185% d'augmentation ainsi qu'à l'introduction d'une nouvelle race (queue fine).

Tableau.2.5 Evolution de l'effectif animal

Unité : tête

Année	31/8/87	31/8/88	31/8/89	31/8/90	31/8/91	31/8/92	31/8/93	31/8/94	31/8/98
Barbarine	900	1051	1280	1372	1665	1684	1950	2088	2569
Queue fine	-	-	-	-	-	202	227	248	478
Total	900	1051	1280	1372	1665	1886	2177	2336	3047

Source : Rapports d'activités (1987-1998).

L'examen préliminaire du fonctionnement de cette exploitation type nous a permis de tirer la conclusion suivante : les conditions édaphiques, géomorphologiques et hydroclimatiques de la ferme "Saouaf" sont favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène de l'érosion, notamment lors d'importantes averses. Ceci entraîne un approfondissement du réseau hydrographique et un entaillement profond du sol suivi par un lessivage des argiles et une perte des éléments minéraux par lixiviation.

III.3.1.2 Les Sociétés de mise en valeur et de développement agricole : cas de la SMVDA Elwefak

L'origine des sociétés de mise en valeur et de développement agricole, comme nous l'avons déjà signalé, provient de la privatisation et du démantèlement, sous formes d'actions, des Unités Coopératives de Production Agricole (UCPA) formées sur des terres domaniales. La location des terres domaniales par ces sociétés de mise en valeur est fixée généralement à 25ans renouvelable jusqu'à 40 ans maximum avec un prix de location très raisonnable.

Toutefois, malgré l'histoire récente de la mise en production, les tenants de ces sociétés ont pu constituer des grandes entreprises agricoles et ceci grâce à leur volonté d'ascension sociale et parce qu'ils ont pu profiter d'une conjoncture économique très favorable (prix de location faible, facilités des crédits, etc.).

Au niveau de ces entreprises, on assiste généralement, à un développement profond

dans le fonctionnement de l'exploitation (mécanisation très poussée, recours systématique au salariat agricole, importante utilisation des crédits,...) et à une utilisation dans la norme des engrais chimiques. Ce développement, reposant sur un recours fréquent à des crédits, a été facilité par un capital initial important, par une sécurité foncière et par une localisation favorable à la mise en place et à l'écoulement de nouvelles productions.

L'effort entrepris en matière d'investissement productif se traduit par une extension de la superficie irriguée, mais cette extension n'a pas porté prioritairement sur les spéculations les plus intensives comme les cultures maraîchères d'été ou d'hiver mais plutôt sur les cultures céréalières et à degré moins les fourrages et l'arboriculture fruitière.

Pour caractériser ce groupe d'exploitations dans notre recherche, nous avons sélectionné la SMVDA Elwefak en tant qu'exploitation type.

Située dans la délégation de «Bir mcharga», la SMVDA Elwefak occupe une superficie totale de 547ha dont 340 superficies en sec, 121ha en irriguée et le reste répartis entre l'inculte et les parcours. Le système de production est de type polyculture-élevage avec une dominance patente des céréales. Les successions culturales sont de type biennal (céréale-jachère travaillée) et triennal céréale-fourrage-jachère. (le détail du système de production de cette entreprise est avancé dans le tableau.2.6)

III.3.2 Le secteur privé

Le secteur privé, dans la région de Zaghouan, occupe une superficie totale de l'ordre de 240 900 ha dont 80% (192 883 ha) de superficie agricole utile. Ce secteur compte environ 11500 exploitations, qui peuvent être réparties sur sept groupes distincts.

III.3.2.1 Les systèmes de production en extensif

III.3.2 .1.1 Les petites exploitations (groupe 1 : EP)

Ce groupe, rencontré le plus souvent dans les zones topographiquement marginales et peu propices à la culture, intéresse près de 7680 agriculteurs qui, par leur nombre important, présentent un poids social considérable (67 % des exploitations). La taille moyenne de cette structure est de l'ordre de 6,5 ha. Elle représente, en effet, les petites exploitations de taille variant entre 4,5ha et 10ha.

Ces exploitations sont issues du démantèlement de petites propriétés d'origine récente constituées à la faveur de la mise en application de la nouvelle législation

foncière introduite après l'indépendance (liquidation des habous et accession à la propriété d'une partie des anciens occupants), mais également à partir de petits achats de terre effectués par des anciens ouvriers agricoles ou métayers.

Le système de production le plus souvent rencontré est à base de polyculture en sec où un petit élevage peut également exister chez certains cas. Les productions agricoles sont peu diversifiées : céréales essentiellement (blé et orge), oliviers assez souvent, légumineuse plus rarement. Le petit nombre d'élevage existant (moins d'une dizaine de têtes d'ovins et une à deux vaches), prélève sa nourriture sur le peu de fourrage produit, des parcours domaniaux avoisinants et de la jachère qui est toujours présente malgré l'exiguïté de la superficie.

Les agriculteurs de ce type se caractérisent par leur projet qui est avant tout un projet de reproduction familiale. En effet, leur système de production reste dépendant d'un modèle de fonctionnement traditionnel peu diversifié et quasi-exclusivement orienté vers l'autoconsommation. Les ventes ne sont effectuées que lorsqu'un surplus est disponible, et ne concernent généralement que les sous produits de l'élevage tels que les veaux, les agneaux, la laine mais rarement les produits végétaux qui sont pratiquement destinés à la consommation. Donc l'agriculture ne joue qu'un rôle de soupape pour se nourrir et l'accès à l'autoconsommation est très étroitement lié aux sources de revenus extérieurs à l'exploitation. En effet leur logique de fonctionnement est fondée en majorité sur la double activité mais celle-ci correspond le plus souvent à une logique de survie et ne s'inscrit pas dans la logique de la production agricole marchande.

En dehors de la mécanisation qui porte ici aussi bien sur les travaux de labour que de récolte, l'utilisation des engrais chimiques est relativement faible et irrégulière. Elle ne porte que sur les engrais phosphatés, les engrais azotés étant peu utilisés. La main d'œuvre est exclusivement familiale sauf parfois pour la taille des olives ou pour la garde des animaux si la famille est réduite.

L'insuffisance des ressources terres et leur mauvaise qualité conjuguées à la faiblesse des moyens de trésorerie et aux fluctuations de la production conduisent généralement les agriculteurs à un refus total des risques (pas de terres exploitées en location ou en métayage²³, pas de recours au crédit, etc...) et à un manque de dynamisme.

²³ Le métayage est un mode de faire valoir d'une propriété foncière par lequel le propriétaire cède l'usage de sa terre à un locataire ou métayer moyennant une rétribution représentant une part (en général un tiers) des produits de l'exploitation (Larousse agricole, 1981).

III.3.2 .1.2 Les exploitations de taille moyenne (groupe 2)

Ces exploitations sont caractérisées par une superficie en propriété dépassant les 10 hectares et par une grande diversité dans l'importance respective de l'autoconsommation et de la commercialisation dans la production agricole. Une telle caractéristique place les exploitants de ce groupe nettement au dessus des précédents.

Installées généralement dans les zones de reliefs et de collines, ces exploitations peuvent avoir plusieurs origines : les exploitations issues des familles de propriétaires traditionnels d'origine tribale qui ont pu protéger leur patrimoine foncier contre l'expropriation coloniale et les partages successoraux, les jeunes agriculteurs attributaires des lots domaniaux, les exploitants en ascension issus du groupe des petits producteurs marchands et qui ont réussi à franchir les obstacles qui s'opposaient à leur expansion, etc.

La diversité des origines et de mode de faire valoir va entraîner une grande diversité dans les projets sociaux des agriculteurs et dans le choix des stratégies à mettre en oeuvre. Deux sous-groupes peuvent être ainsi distingués : les propriétaires traditionnels et les exploitants moyens en expansion.

A. Les exploitants moyens qui se maintiennent (sous groupe 2.1 : EMM)

Ce premier sous-groupe (2.1) d'exploitations intéresse environ 6,5% des agriculteurs de la région, souvent constituées par les propriétaires traditionnels et par les jeunes agriculteurs attributaire des lots domaniaux, avec une superficie moyenne de l'ordre de 15,5 ha variant entre 10 et 30ha.

En tant que propriétaire, les agriculteurs de ce modèle sont le plus souvent motivés par l'amélioration pastorale et la conservation du patrimoine sol. Leurs stratégies visent essentiellement la conservation ou la restructuration de l'exploitation. L'absence des revenus extérieurs et l'importance des charges de la famille rend les agriculteurs très méfiants à l'égard des nouvelles techniques de production et restent dépendant d'un système de production traditionnel à base de polyculture en sec avec intégration de l'activité animale. La céréaliculture continue toujours d'occuper la majeure partie des superficies (35%), les fourrages et l'oléicole restent d'une moindre importance. Le petit élevage qui existe est formé en moyenne par 19 unités ovines-caprines et d'une à deux vaches.

Le niveau de mécanisation porte généralement sur les opérations de préparation du

sol. La moisson et le battage se font à la technique traditionnelle. En dehors des engrais phosphatés, l'apport d'engrais chimiques est irrégulier. Le travail reste d'ailleurs essentiellement familial, même si l'on a recours au travail salarié, et la satisfaction des besoins alimentaires de la famille continue d'être une fonction importante de l'exploitation. En effet, l'absence des revenus extérieurs, l'importance des charges familiales et le caractère peu intensif du système rendent probablement difficile le dégagement d'un surplus qui permet d'accroître la capacité de production de ces unités et conduit parfois les propriétaires à céder une partie de leur terre sous forme de location ou métayage. Les éventuels surplus sont destinés à l'amélioration des conditions de vie de la famille.

Toutefois, deux obstacles majeurs entravent la consolidation de ces exploitations et entraînant ainsi la faible représentation de ce type dans la région :

* le mode de transmission du patrimoine qui entraîne généralement un éclatement de l'exploitation. Cette pratique peut aboutir dans certains cas où l'accumulation n'a pas été suffisante, à l'installation d'unités trop petites pour satisfaire les aspirations fondamentales des membres de la famille ; ce qui aboutit le plus souvent à la disparition de l'exploitation.

* l'absence des politiques spécifiques à ces exploitations (reconstitution du patrimoine foncier, statut de fermage²⁴ et du métayage, encadrement technique, crédit, etc.).

B. Les exploitants moyens en expansion (sous groupe 2.2 : EME)

Ce deuxième sous-groupe (2.2) qui intéresse environ 860 agriculteurs répartis d'une manière plus ou moins équilibrée entre les délégations, est constitué par les propriétaires d'origine récente dont les superficies en propriété dépassent les 30 à 40 ha ; mais les superficies exploitées peuvent atteindre pour certains d'entre eux même une centaine d'hectare par le métayage et la location.

Contrairement aux exploitants précédents, ce sous-groupe se caractérise par un projet expansionniste fondé sur une concentration progressive des moyens de production, une ferme volonté d'ascension sociale et un degré d'ouverture très important. Les stratégies d'expansion utilisées sont multiples : métayage, location, utilisation du crédit agricole ou association avec des gens qui ont des capitaux...

²⁴ Le fermage est un mode de faire valoir d'une propriété foncière, par lequel un propriétaire cède l'usage de sa terre à un locataire, ou fermier, à condition que celui-ci s'engage à lui payer chaque année une redevance fixée par avance et indépendante des résultats obtenus (Larousse agricole, 1981).

Le système de production le plus dominant est à base de polyculture en sec ; les céréales et la jachère travaillée continuent d'occuper la majeure partie des superficies, les fourrages et l'arboriculture rustique présentent une place moins importante.

L'utilisation des engrais sur les cultures est systématique, cependant elle ne l'est pas pour les semences certifiées et les désherbants. La main d'œuvre familiale participe toujours aux travaux agricoles, avec le recours fréquemment à un salarié spécialisé et à des occasionnels. Le processus d'évolution dans ces exploitations se traduit par l'appropriation de matériel de traction et de transport, qui va permettre dans une phase ultérieure de dégager un surplus, (location de ce matériel à d'autres agriculteurs).

L'importance de l'élevage est dépendante en grande partie des ressources fourragères produites au niveau de l'exploitation (44%), mais aussi des parcours et des ressources forestières à proximité des exploitations. Ainsi les effectifs du troupeau en moyenne peuvent s'élever à une cinquantaine de têtes pour les ovins, 5 caprins et 4 têtes pour les bovins.

III.3.2 .1.3 Les grandes exploitations (groupe 3)

Ce groupe caractérise les exploitations de grande taille dont la superficie dépasse les 120 ha, réparties en majorité sur les zones de plaine et de glacis avec des proportions variables. Dans la région, ces exploitations qui ne représentent qu'une infime minorité des exploitations (3%) occupent néanmoins un pourcentage considérable des terres (environ 35% de surface agricole utile du secteur privé).

Les exploitants de ce groupe trouvent souvent leur origine dans la grande propriété foncière. Ils peuvent également avoir été constitués par des entrepreneurs ou des éléments extérieurs à l'agriculture (membres de professions libérales, commerçants) et qui considèrent cette dernière comme un métier de technicien.

Si un certain nombre de caractéristiques du fonctionnement sont communes à l'ensemble des grandes exploitations, il existe néanmoins une grande diversité dans les projets sociaux des agriculteurs et dans les stratégies de fonction et de développement de leurs exploitations. Deux sous groupes peuvent être ainsi distingués :

A. Les grandes exploitations qui se maintiennent (sous-groupe 3.1 : EGM)

Ce modèle intéresse environ 260 agriculteurs rencontrés le plus fréquemment au niveau des zones de glacis et des collines et parfois au niveau des glacis. S'étendent en moyenne sur une superficie de l'ordre de 137 ha, ces exploitations se caractérisent avant tout par un projet de propriétaires qui leur confère un pouvoir et un statut social élevé.

Ce sous-groupe est caractérisé d'une part, par le maintien d'un système de production extensif basé sur la polyculture en sec à dominance céréalière avec l'intégration de l'élevage ovin et bovin et où la jachère travaillée occupe d'importantes superficies et d'autre part, par une orientation nettement commerciale bien que l'autoconsommation ait toujours sa place.

L'effectif moyen se compose de 124 têtes ovines, 7 têtes caprines et 6 têtes bovines de race locale croisée.

La main d'œuvre est exclusivement salariée, avec appel parfois à des temporaires. La main d'œuvre permanente est spécialisée (chauffeurs, bergers, vachers...), et le chef d'exploitation souvent absentéiste remplit la fonction de gestionnaire. Sur le plan équipement, ces exploitations ne font appel à l'extérieur que pour les travaux de récolte.

De par la mécanisation qui porte ici sur toutes les opérations culturales ; l'utilisation des engrais chimiques est dans les normes, et les rendements réalisés sont globalement moyens. Toutefois, en absence des moyens techniques et financiers, ces propriétaires préfèrent céder leur terre sous forme de location ou métayage.

B. Les grands entrepreneurs (sous-groupe 3.2 : EGE)

L'origine de ces exploitations peut être différente mais le comportement social des agriculteurs vis à vis de l'exploitation est le même. Généralement, elles ont été constituées par des agriculteurs d'origine sociale modeste, petits fermiers ou métayers, éleveurs ou encore par des éléments venant de l'extérieur de l'agriculture mais ayant un niveau d'instruction relativement élevé (techniciens agricoles...).

Toutefois, malgré l'histoire récente de la propriété, ces agriculteurs ont pu constituer des exploitations de grandes dimensions fonctionnant comme de véritables entreprises et ceci grâce à leur volonté d'ascension sociale et parce qu'ils ont pu profiter d'une conjoncture favorable (achat de terre au moment de la décolonisation, facilités des crédits, location des terres, etc...).

Ce sous-groupe intéresse les agriculteurs de la strate d'exploitation comprise entre 200 et 500 ha et qui sont au nombre de 80 environ. Les superficies en propriété sont au moins 200 hectares ; mais les superficies exploitées peuvent atteindre les centaines d'hectares au total.

Au niveau de cette catégorie d'exploitations, le mode de culture pratiqué se traduit par le maintien de système de production extensif basé sur la monoculture à dominance céréalière et où la jachère (surtout la jachère travaillée) occupe d'importantes superficies associée éventuellement à un élevage hors-sol. On assiste également à un développement profond dans le fonctionnement de l'exploitation (mécanisation très poussée, recours systématique au salariat agricole, importante utilisation des crédits,...) et à une utilisation dans la norme des engrais chimiques. Ce développement reposant sur un recours fréquent à des crédits, a été facilité par un capital initial important, par une sécurité foncière et par une localisation favorable à la mise en place et à l'écoulement de nouvelles productions.

La quasi-totalité des productions est commercialisée. Certains agriculteurs pratiquent le stockage pour la vente spéculative. Les sous-produits du système de culture sont entièrement valorisés par vente ou location à des tiers.

III.3.2.2 Le système de production en intensif (groupe 6 : EIN)

Ce groupe caractérise les exploitations conduites partiellement en irrigué à partir des puits de surface et des forages et dont la superficie moyenne est d'environ 13ha. Identifié principalement au niveau des zones de glacis (les irriguants de puits de surface) et des zones de glacis, ce groupe intéresse environ 1100 agriculteurs (9% des exploitations).

Le niveau d'intensification chez la plupart des agriculteurs répond au potentiel disponible et offert par les nappes superficielles et souterraines. La superficie moyenne potentiellement irrigable par puits de surface ou par forages ne dépasse pas les trois hectares. Actuellement, les irriguants disposant de l'une des deux ressources, valorisent en moyenne 2,54 ha en intensif, soit l'équivalent de 20% de la superficie totale de l'exploitation. L'arboriculture fruitière représentée en majorité par les espèces à pépin (pommier, poirier, olivier de table, etc.) occupe 38% de la superficie irriguée, le reste étant valorisé par la culture du blé et les cultures d'été du type tomate, piment, pastèque. Certains agriculteurs s'adonnent aux cultures de l'orge et de sorgho entre autres. Le maraîchage d'hiver à base de carotte, radis, oignon et fenouil en intercalaire avec l'olivier est une pratique courante.

En sec et outre les plantations d'olivier à huile et de l'amandier, le système de culture porte sur un assolement biennal à base de grandes cultures (céréales et fourrages) et de jachère. L'activité animale consiste en un élevage de bovins et d'ovins. Le troupeau est formé en moyenne par une vache, une unité caprine et 16 unités ovines. Les ressources fourragères produites permettent de couvrir environ 40% des besoins de cheptel.

La satisfaction des besoins alimentaires de la famille continue d'être une fonction importante dans les exploitations de ce groupe qui est basé sur le mode de faire valoir direct, néanmoins la terre est utilisée comme un outil de production et la logique de fonctionnement est une logique d'expansion. Cette stratégie d'expansion est basée sur la famille aussi bien au niveau de la main d'oeuvre que du foncier : utilisation des membres de la famille élargie pour la réalisation des travaux agricoles, concentration foncière par achat ou location des terres familiales.

III.3.2.3 Le système de production en semi-intensif (groupe 7 : ESI)

Ce groupe caractérise les exploitations conduites en semi-intensives, irriguées en majorité à partir des barrages, des oueds et des lacs collinaires, et dont la superficie moyenne est d'environ 12,5ha . Identifié principalement au niveau des zones de reliefs et des collines, ce groupe intéresse en moyenne un effectif de 775 agriculteurs (6.75% des exploitations). Cet effectif, variable d'une année à l'autre, présente une dépendance quasi-totale des conditions climatiques (fréquence des années sèches et des années pluvieuses).

En année climatique déficitaire hydriquement, l'exploitant se limite à la pratique des cultures céréalières avec un apport hydrique de complément. Cependant, en année relativement pluvieuse, l'activité agricole se développe jusqu'à la pratique des cultures estivales rarement peu consommatrices en eau. L'arboriculture fruitière conduite en intensif occupe presque 10% de la superficie des cultures irriguées. L'activité agricole hivernale est généralement orientée vers la pratique des cultures maraîchères d'hiver en intercalaire avec les plantations d'oliviers et des cultures maraîchères de primeur à base de pastèque et de cucurbitacées. Sur le reste de la superficie irriguée, l'agriculteur s'adonne au maraîchage d'été, comme il est de tradition dans la zone.

Par ailleurs, les cultures extensives occupent une part relativement importante au niveau de l'exploitation dépassant 90% de la superficie. Outre les plantations d'oliviers et d'amandiers, il s'agit le plus souvent d'un système de culture qui porte

sur la pratique d'un assolement biennal à base des cultures céréalières et fourragères associées à la jachère travaillée et faisant intégrer un élevage mixte. La taille moyenne du troupeau est constituée d'une vache et d'une dizaine de brebis. Les ressources fourragères produites ne permettent de couvrir qu'une partie des besoins du cheptel, le déficit est dans la majorité des cas comblé par l'achat de foin, de la paille et du son.

Tableau.2.6 Caractéristiques des exploitations représentatives de chaque groupe (résultat de la typologie)

Caractéristiques	EP	EMM	EME	EGM	EGE	EIN
Système de culture	polyculture en sec	polyculture en sec	polyculture en sec	polyculture en sec	monoculture en sec	polyculture en sec / en irrigué
Zone	relief	relief	collines	glacis	plaine	glacis
Revenu extérieur annuel	Important	Faible	Important	Important	Faible	Importa
Destination des produits	Auto + Vente (Ani)	Auto +Vente	Auto +Vente	Auto +Vente	Vente	Auto +Vente
Main d'oeuvre	Familiale	Familiale	Salariée	Salariée	Salariée	Salarié
Equipements	Location	Location	propriété	Location	propriété	Locatio
Poids des exploitations	66,80	6,50	7,50	2,25	0,70	9,50
Superficie moyenne	6,41	15,50	44,95	137,10	420,00	12,69
Superficie de parcours amélioré	0,89	0,20	3,41	1,05	0,00	0,00
Superficie cultivée en sec	3,94	10,65	31,27	94,97	193,00	7,80
Olivier	1,41	2,25	10,72	16,87	5,50	1,69
Amandier	00	0,45	0,20	1,32	0,00	0,49
Grandes cultures en sec	2,54	7,95	20,35	76,78	187,50	5,62
blé	1,86	5,50	8,76	32,07	112,50	3,33
orge	0,38	1,10	6,98	24,83	36,25	0,75
avoine foin	0,30	0,90	3,45	13,46	32,57	1,54
orge ensilage	0,00	0,45	0,116	6,42	6,18	0,00
médicago	-	-	-	-	-	-
Superficie cultivée en irriguée	-	-	-	-	-	2,36
Blé	-	-	-	-	-	0,43
Cultures maraîchères	-	-	-	-	-	1,93
Pomme de terre	-	-	-	-	-	0,28
Tomate	-	-	-	-	-	0,55
Pastèque - melon	-	-	-	-	-	1,10
Jachère (80% travaillée)	1,58	4,65	10,27	41,08	227	2,53
Elevages	-	-	-	-	-	-
ovin	6	16	50	124	250	16
bovin	2	1	4	6	18	1

EP : Les petites exploitations ;

EMM : Exploitants moyens qui se maintiennent ;

EME : Exploitants moyens en expansion ;

EGM : Grandes exploitations qui se maintiennent ;

EGE : Grands entrepreneurs ;

EIN : Système de production en intensif ;

ESI : Système de production en semi-intensif ;

SMVDA : Sociétés de mise en valeur et de développement agricole ;

EPU : Exploitations Publiques (les fermes de l'OEP)

III.3.2.4 Structure agraire du secteur privé

La construction de la courbe de la concentration foncière dans le secteur privé nous a permis de constater que les structures agraires de ce secteur restent toujours caractérisées par une très forte inégalité dans la répartition de la terre. En effet, 3% d'agriculteurs exploitent plus de 36% de la surface agricole utile, alors que 75% doivent se partager 34% de la superficie.

Cette courbe, appelée aussi courbe de Lorenz, obtenue à partir des pourcentages cumulés des agriculteurs portés en abscisses, et des pourcentages cumulés des terres portés en ordonnée, nous a permis, d'une part, de visualiser l'inégale répartition des terres dans la région de Zaghouan et, d'autre part, de montrer que le processus de la concentration foncière, néanmoins, n'est pas encore renforcé étant donné que le coefficient de Gini est trop loin de 1.

Le coefficient de Gini qui est le rapport entre, d'une part, la surface comprise entre la courbe de Lorenz et la diagonale du carré OR (A) et, d'autre part, la surface du triangle ORM (A+B). Ayant une valeur comprise entre 0 et 1, ce coefficient est égal à 0 si la distribution est égalitaire et se rapproche de 1 lorsque l'inégalité de distribution augmente.

Lorsque la courbe de Lorenz se situe sur la diagonale OR (la droite d'équirépartition), la distribution sera totalement égalitaire et le coefficient de Gini sera égal à zéro.

- Equation de la courbe de Lorenz : $(1.5931X^2 - 0.7488X + 0.0032)$

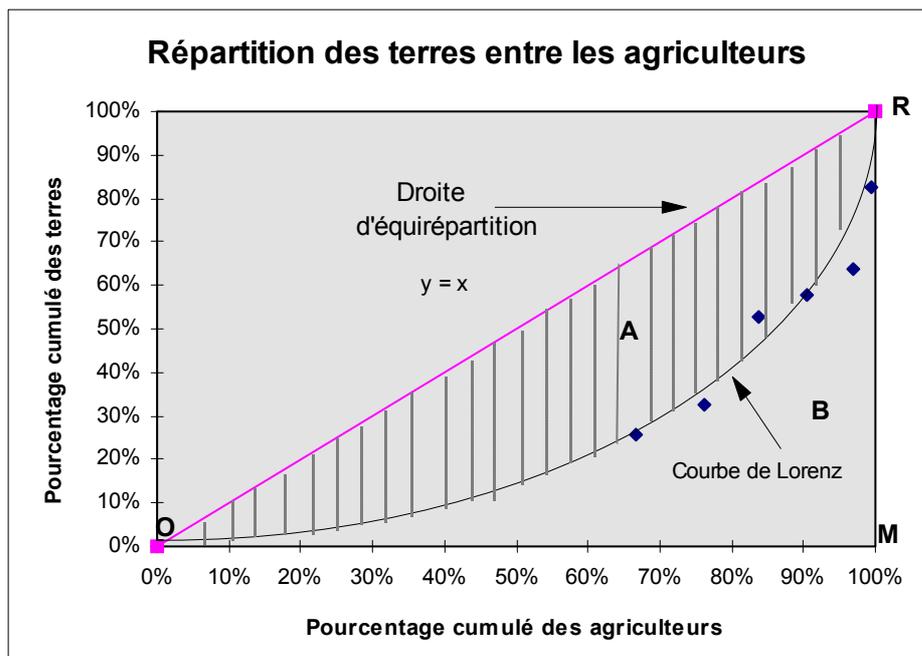
- Coefficient de Gini = $\lambda = \frac{A}{A+B}$ (A : surface hachurée)

$$\begin{cases} \lambda \rightarrow 1 \text{ répartition imparfaite} \\ \lambda \rightarrow 0 \text{ répartition parfaite} \end{cases}$$

$$B = \int_0^1 (1.5931X^2 - 0.7488X + 0.0032) dX \Rightarrow B = \left[\frac{1.5931}{3} X^3 - \frac{0.7488}{2} X^2 + 0.0032X + \kappa \right]_0^1$$

$$\lambda = \frac{A}{A+B} = \frac{0.16}{0.5} = 0.3 \Rightarrow \lambda = 0.3 \text{ (la répartition des terres est inégale mais la}$$

concentration foncière est loin d'être forte).



Source : élaboration personnelle à partir des résultats des enquêtes

III.4 Les paramètres et les coefficients techniques régionales

III.4.1 Techniques culturales et utilisation moyenne des intrants

Concernant les acquis de la recherche et les références techniques, il est important de rappeler que le gouvernorat de Zaghouan est le site de plusieurs projets de recherche lancés dans l'objectif d'établir un référentiel technique à partir de l'expérimentation en milieux réels. Ces travaux²⁵ basés sur une analyse multidisciplinaire, visent essentiellement le développement de la production céréalière qui tient la première place dans les préoccupations en matière de politique agricole. Les résultats obtenus par ces travaux pouvant pour certains thèmes dépasser largement le gouvernorat de Zaghouan, et être rapportés et exploités au niveau national.

Pour ce qui est des systèmes de production, les techniques culturales et l'utilisation des intrants, le diagnostic de la situation actuelle fait par les chercheurs de CNEA et par des chefs de CTV, montre un niveau de mise en valeur variant du moyen en extensif à l'appréciable en intensif. Ceci, peut être expliqué par les spécificités suivantes :

²⁵ Parmi ces travaux on cite à titre d'exemple le projet franco-tunisien de recherche sur la céréaliculture et la dynamique des systèmes agraires en Tunisie (Annales de l'INRAT -numéro spécial- vol. 64 - 1991), réalisé par Mme Gana et Mr. Elloumi, le travail de recherche sur l'adaptation variétale des céréales aux conditions du milieu semi-aride mené par Mr. Yahyaoui, le projet inter-régional (FAO/Italie -projet GDP/INT/542/ITA) pour la conservation et le développement à caractère participatif des hautes terres, et le travail de recherche sur le mode de fonctionnement des exploitations agricoles élaboré par les chercheurs de CNEA.

- le taux élevé d'absentéisme au niveau des grandes exploitations est le premier problème à souligner. Ce phénomène qui s'accroît de plus en plus, peut influencer la mise en valeur des terres et la bonne gestion des exploitations. A cela s'ajoute aussi le mode de faire valoir indirect (location ou métayage) qui est relativement important ;
- les travaux de préparation du sol sont en majorité des cas axés sur la traction mécanique. En effet, cette orientation vers la mécanisation a connu un grand essor suite à l'installation, au cours des dernières années, des sociétés de mise en valeur et de développement agricole (SMVDA). Cette opération est de règle pour les différentes étapes ou itinéraires techniques, en particulier le labour, la moisson, le battage et la fauche. L'utilisation de la traction animale est limitée aux opérations de billonnage ou binage des cultures maraîchères chez certains exploitants.
- L'emploi des engrais, notamment pour les cultures conduites en sec est aléatoire d'une année à l'autre notamment pour l'apport des engrais azotés. Dans la majorité des cas, les agriculteurs apportent le super 45% à des doses variant de 50 à 100kg à l'hectare et l'ammonitrate 33% à des doses variant, en fonction de la pluviosité, de 50 à 100kg/ha. Les parcelles d'orge reçoivent moins d'engrais que les parcelles de blé ; aussi les cultures fourragères sont conduites sensiblement de la même manière ;
- La conduite à la lutte contre les adventices est liée aux conditions climatiques chez les petits agriculteurs ; l'utilisation des produits de traitement est généralement la pratique des grands et des moyens agriculteurs. En effet, l'usage annuel des herbicides est limité aux grands agriculteurs et aux sociétés de mise en valeur, alors qu'il est rare chez le petit exploitant et peut même être lié à une volonté implicite pour conserver les plantes pour le pâturage et garantir une flore suffisante sur la jachère qui suit ;
- Le recours à l'utilisation des semences sélectionnées est significativement faible si l'on tient compte de la vocation céréalière de la région. L'utilisation des variétés à haut rendement est généralement réservée pour les grands agriculteurs. La semence utilisée par les petits et les moyens agriculteurs est en issue pour la majorité de la dernière récolte (90% pour l'orge et 80 à 90% pour le blé). L'opération des semis est généralement (90%) mécanique ;
- Au niveau du secteur oléicole, la conduite technique se limite généralement à quelques passages à la traction mécanique (3 à 4 passages). L'apport des engrais n'est pas une pratique courante ; dans la majorité des cas on assiste à un amendement azoté à base d'ammonitrate 33% ne dépassant pas la moyenne de 50 kg/ha. Le reste des agriculteurs procèdent à un apport bisannuel ou trisannuel de

fumier uniquement et ce, à raison de 5 kg/pied ;

- L'arboriculture fruitière conduite en intensif représente une spéculation au début de développement, la préparation du sol, l'apport d'engrais, la taille et la récolte représentent les principales opérations. L'apport de fumier est une pratique qui commence à devenir courante bien que les doses dépassent rarement les 3 T/ha sauf pour la culture de vigne de table ;
- Le secteur maraîcher est moyennement développé notamment pour les cultures d'hiver et d'arrière saison.

Selon cette synthèse inspirée de l'enquête menée par les chercheurs de CNEA, nous remarquons que le niveau de technicité est relativement plus développé pour les cultures hivernales qu'estivales. La préparation du sol est presque identique pour toutes les cultures et elle est mécanique pour la majorité des opérations culturales, le recours à la traction animale concerne certaines opérations limitées telles que le billonnage. Actuellement, le niveau d'utilisation moyen des intrants pour chaque culture et par unité de surface figure à travers des fiches techniques moyennes indiquées en annexes dans les tableaux n° 2 à 5.

III.4.2 Rendements moyens régionaux

Les rendements moyens réalisés au niveau de la région de Zaghouan ont été fixés en tenant compte des déclarations fournies par les agriculteurs enquêtés par les chercheurs de CNEA et des informations collectées auprès des responsables du CRDA et des CTV. Ces rendements indiqués au tableau.2.7 et qui tiennent compte de la variabilité intra-annuelle peuvent être jugés actuellement moyennement faible.

Les possibilités d'améliorations de ces rendements sont tributaires d'une meilleure conduite culturale, un bon encadrement technique (vulgarisation), une conservation du patrimoine sol et une adoption des techniques d'économie d'eau au niveau des périmètres.

Tableau.2.7 Rendements observés

Culture irriguée	Rendements (T/ha)	Culture en sec	Rendements (T/ha)
Blé	3,2	Olivier à huile	0,9
Foin avoine	4	Amandier	0,5
Orge en vert	17	Blé	0,8
Pastèque primeur	40	Orge	0,9
Concombre primeur	20	Avoine grain	0,7
Tomate de saison	25,5	Foin d'avoine	2
Pomme de terre de S.	15,5	Vesce avoine foin	2
Piment de saison	8	Orge en vert	14
Pastèque de saison	18,5		
Melon de saison	17,5		

Source : enquêtes CNEA

Conclusion

A la suite de cette analyse, il n'est plus possible de garder l'image trop simplificatrice d'un système biennal jachère/blé, très mécanisé, pour représenter les systèmes de culture de cette région semi-aride.

Sans prétendre être exhaustive et approfondie, l'analyse des principales composantes et caractéristiques de l'agriculture dans le gouvernorat de Zaghouan nous a permis de dégager certains enseignements généraux qui seront utiles pour notre problématique à savoir :

- L'activité agricole dans la région est dominée par les spéculations extensives (céréaliculture et élevage) fortement soumises aux aléas climatiques et par conséquent le passage à d'autres systèmes de production n'est pas facile et doit être pris en compte et bien étudié lors de la formulation des politiques de développement agricole.
- La jachère travaillée constitue une composante primordiale dans le système de production dans la région à côté de la céréaliculture et de l'élevage. Cette jachère, à travers ses multiples possibilités d'utilisation (stockage de l'eau, réduction des charges structurelles liées au matériel...), joue un rôle primordial dans la région comme le signale Sebillotte en 1990 «il y a des jachères comme il y a des cultures de blé». Toutefois, l'utilisation assez fréquente de la jachère travaillée dans la rotation culturale s'accompagne d'une considérable perte du sol par l'érosion étant donné que le sol restera nu tout au long de l'année et donc tout choix de cette pratique devrait être pris d'une manière prudente.

- Trois facteurs nous semblent jouer un rôle déterminant dans la diversité des structures agricoles, des systèmes de production et des itinéraires de modernisation des exploitations de la région et contribuent à l'orientation de leurs trajectoires de développement et de modernisation.

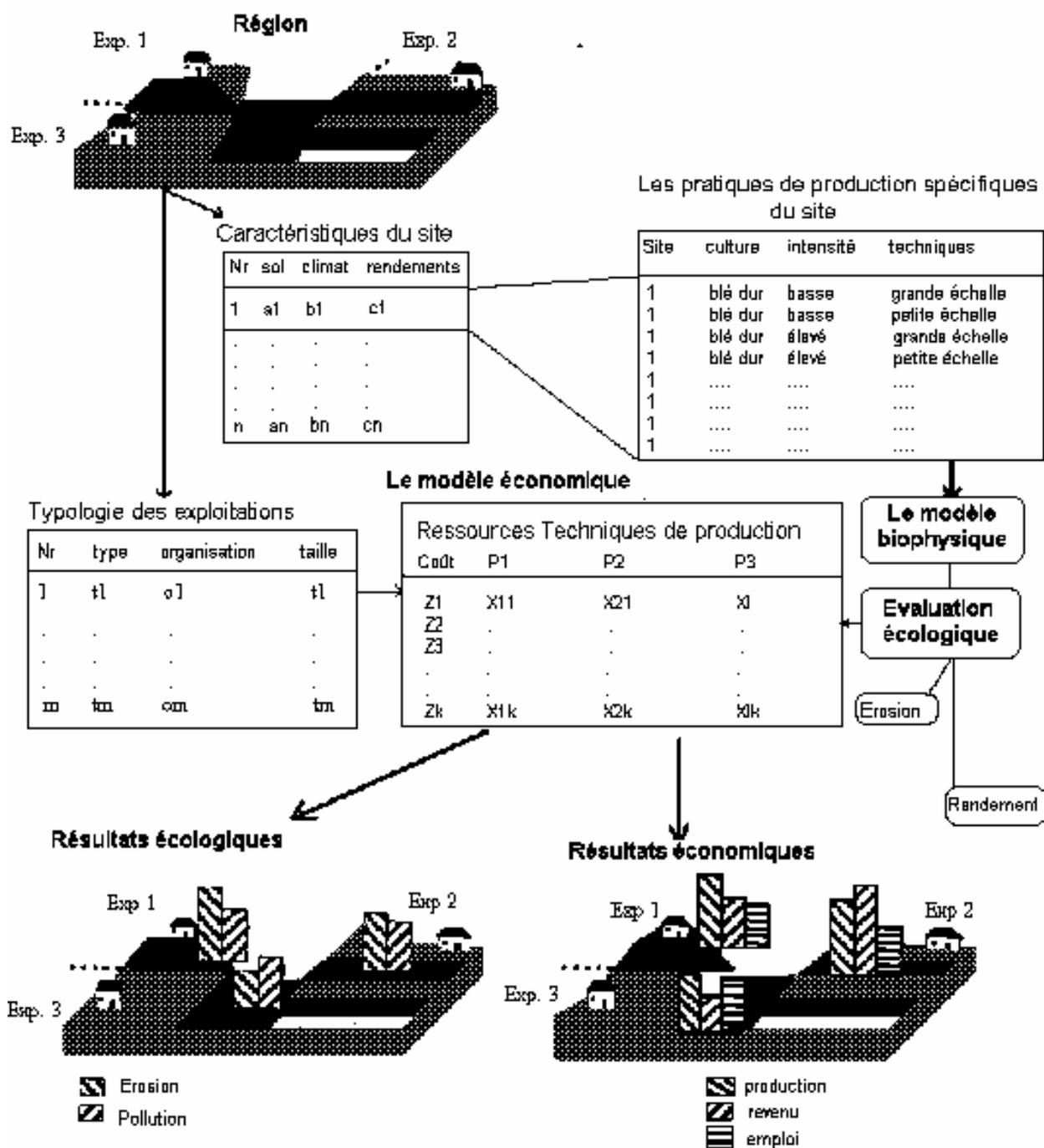
- La situation patrimoniale de départ, notamment en ce qui concerne le foncier et le cheptel (source de trésorerie, accumulation du capital...), et l'importance des performances techniques antérieures constituent incontestablement des facteurs déterminants pour opérer une mutation au niveau du système productif de l'exploitation surtout dans un environnement extérieur de plus en plus sélectif.
- La structure familiale et son évolution jouent aussi un rôle important dans la mise en œuvre d'une stratégie de modernisation. Les perspectives de maintenir ou pas une organisation familiale favorable à la mise en œuvre d'un projet de modernisation conditionnent, dans une large mesure, les décisions et les choix en matière de modernisation.
- La présence des sociétés de mise en valeur et de développement agricole (SMVDA) et des fermes para-étatiques joue un rôle déterminant pour amorcer tous processus de modernisation des exploitations aussi bien par l'appui matériel direct que par l'encadrement technique.

- Face à la montée des incertitudes et à l'imprévisibilité qui caractérisent de plus en plus l'environnement extérieur, la plupart des exploitants ont tendance à privilégier les systèmes de production les plus sûres même si leur rentabilité est moindre. Ce comportement sécuritaire des exploitants, qui a ses justificatifs d'ordre économique et social, représente dans une certaine mesure un obstacle au développement des dynamiques de modernisations des exploitations.

- En terme de catégories, on peut estimer que les exploitations dont la taille est inférieure à 20ha (groupes 1, 2, 6 et 7), même si elles témoignent souvent d'un dynamisme, notamment dans le secteur irrigué, elles conservent souvent une situation fragile peu favorable à l'entretien d'un dynamisme de modernisation ascendante puisqu'elles sont généralement dans une logique de survie familiale et que de toute façon leurs passages à une logique de production suppose que leurs moyens soient renforcés. C'est le cas des exploitations moyennes en expansion (groupe 3) qui sont dans une logique de production et qui ont tendance à mettre en œuvre des stratégies de modernisation plutôt endogènes. Celles-ci nous paraissent mieux préparées pour garder le cap de la modernisation et pour la mise en place d'un système de production plus sophistiqué du moins à moyen et long terme. Quant aux exploitations de grande taille (groupe 4, 5 SMVDA et EPU), qui disposent certes d'un potentiel productif et de ressources non négligeables, sont souvent tentées soit par une modernisation accélérée soit par une diversification de l'activité économique.

Cette attitude n'est pas sans risque surtout quand elle entraîne une saturation de la force de travail familiale ou un endettement excessif auprès du système bancaire.

Construction et conception du modèle bio-économique



Source : élaboration personnelle

CHAPITRE 2 : LE MODELE BIOPHYSIQUE : CONSTRUCTION ET OBTENTION DES COEFFICIENTS TECHNIQUES

Introduction

Les modèles de simulation biophysiques permettent d'établir les rapports inputs-outputs en ce qui concerne la production végétale et simulent la croissance des plantes et ces rapports avec l'état du sol, le mouvement de l'eau et les interventions humaines (labours, fertilisation, irrigation, etc).

Ces modèles, dans la mesure où ils peuvent fournir à l'économiste les résultats, en termes de rendements, des différentes combinaisons de facteurs de production, constituent un moyen très intéressant pour la construction d'une fonction de production d'ingénieur (Deybe D., 1993).

Dans le cadre général des travaux de notre équipe de recherche, comme nous l'avons déjà signaler, nous avons choisi le modèle EPICPHASE temps réel qui est le résultat de modifications de la version standard américaine d'E.P.I.C.²⁶, Erosion Productivity Impact Calculator, développé par l'USDA-ARS à Temple (USA) en vue d'obtenir un modèle mieux adapté à la gestion de l'eau en grande culture.

Dans le cadre de cette recherche, l'application du modèle EPICPHASE a pour objectif de simuler les effets du sol, du climat, des pratiques et des rotations culturales sur l'érosion du sol, puis l'effet à long terme de celle-ci sur le rendement des cultures, d'évaluer les effets à long terme des techniques anti-érosives sur l'érosion et sur les rendements des cultures et de fournir les coefficients techniques destinés à être incorporés dans les matrices des modèles de programmation mathématique. En effet, pour les systèmes de production en cours, ces coefficients peuvent être collectés auprès du producteur durant l'enquête, et complétés avec l'avis des experts et/ou chercheurs régionaux. En revanche, la tâche devient plus complexe lorsqu'on se penche sur les effets des alternatives techniques nouvelles à considérer dans les modèles économiques.

Cependant, avant toute utilisation du modèle, il faut s'assurer évidemment qu'il est bien calibré et validé afin qu'il se rapproche le plus possible de la réalité. La calibration consiste à trouver les bons paramètres de la zone étudiée, indispensables

²⁶ Le modèle EPICPHASE temps réel a déjà été présenté antérieurement.

pour le fonctionnement du modèle, et la validation consiste à simuler les pratiques culturales courantes et à comparer les résultats émanant de ces simulations à ceux réellement obtenus sur le terrain.

I. La construction et la validation du modèle biophysique

1.1 La construction du modèle biophysique de base

Bien que la construction d'un modèle soit un travail très complexe et la simulation parfaite de la réalité demeure irréalisable, certains modèles, essentiellement ceux de croissance des plantes, sont parvenus à reproduire cette réalité en intégrant un grand nombre de facteurs et de cultures, aboutissant par conséquent à des résultats encourageants. En effet, par exemple l'application et la construction du modèle EPICPHASE dans le présent travail, peuvent nous permettre d'obtenir, d'après les expériences antérieures²⁷, des résultats très encourageants. Toutefois, afin d'assurer la cohérence de ces résultats, il serait indispensable de disposer de données très complètes et précises relatives au climat, au sol, aux itinéraires techniques, etc.

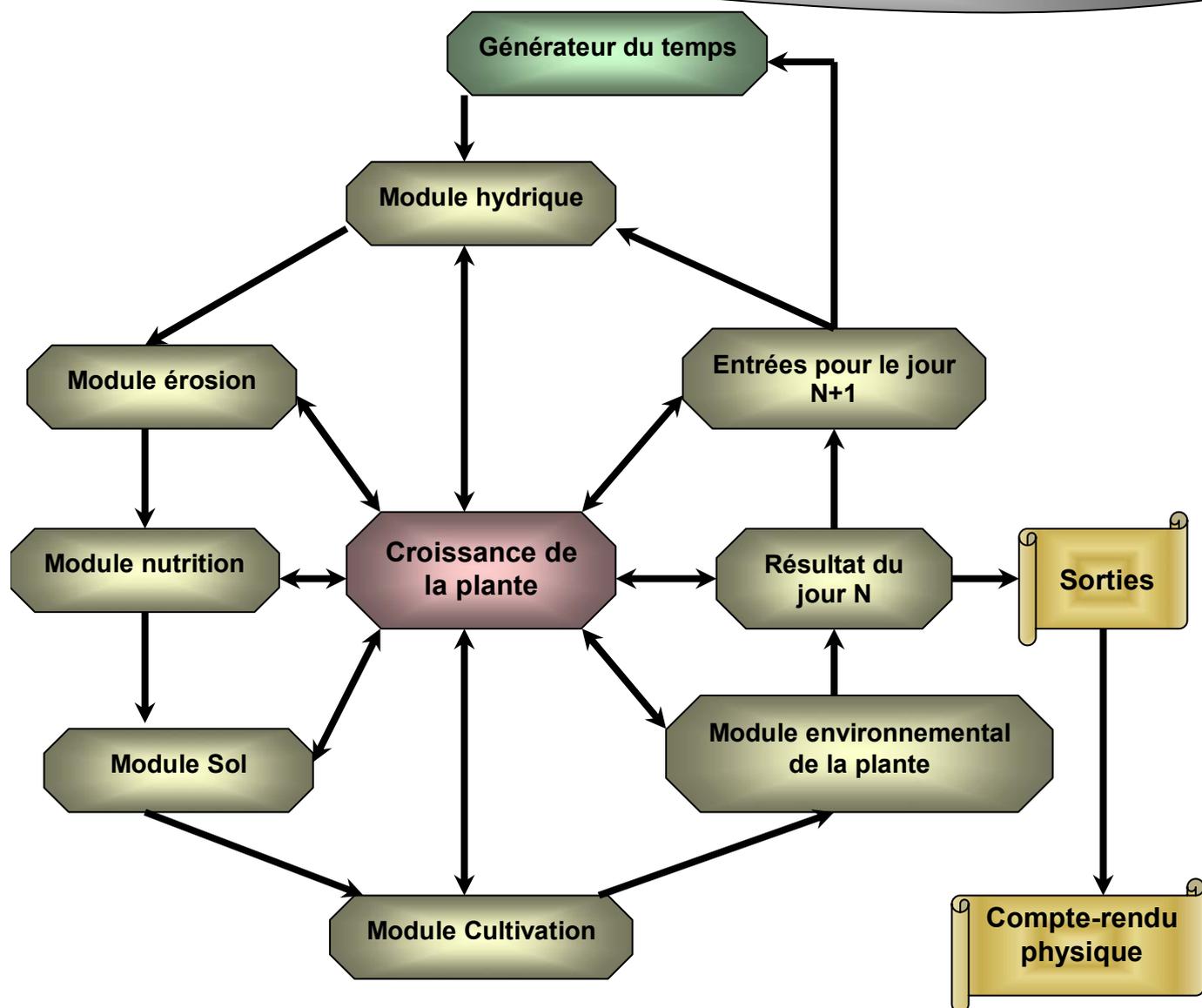
❶ **Le climat**²⁸ : introduit dans notre modèle d'une manière très précise, il comporte les données journalières relatives à la température maximale et minimale, les précipitations, le vent et l'humidité relative, correspondant aux quatorze dernières années (1985-1998).

❷ **Le sol** : les données utilisées sont celles obtenus suite aux prélèvements et aux analyses qui ont été faites par des groupes de l'INRA de Tunis et du CRDA de Zaghuan pour des travaux antérieurs. Etant donnée la forte sensibilité du modèle à ces données, nous avons fait en sorte qu'elles soient soigneusement introduites dans celui-ci. Ainsi, nous avons défini pour chaque type du sol et pour chaque horizon, la densité, la granulométrie, la capacité au champ, le point de flétrissement permanent, la quantité d'azote organique, le PH, le complexe absorbant, les résidus de culture et la présence de phosphore. L'érosion est mise en évidence par les pertes de sol d'origine hydrique.

²⁷ Le modèle EPICPHASE a été appliqué pour plusieurs travaux au sein de notre équipe de recherche.

²⁸ Les données climatiques utilisées (1985-1998) proviennent d'une station Météorologique (station de Mograne) placée à l'intérieur de la zone d'étude. Elles sont donc supposées représenter assez fidèlement les conditions climatiques de la zone d'étude. Les données climatiques de 1999-2008 ont été simulées par le modèle Radest.

Fig.2.1 Schéma général de la simulation par le modèle EPICPHASE



Module de l'érosion par l'eau :

Equation pour l'érosion par l'eau (hydrique) :

$$A = RK(LS)CP$$

Avec : A : perte du sol programmé

R : index d'érosion dû aux chutes de pluie

K : facteur d'érosion du sol

LS : facteur d'inclinaison le moins élevé

C : facteur directeur de la récolte

P : facteur pratiqué pour le contrôle de l'érosion

③ **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 le matériel utilisé, les opérations phytosanitaires avec les doses employées, les fertilisations et les quantités d'azote et de phosphore appliquées, les cultures ensemencées, etc.

④ **Les paramètres physiologiques** : l'ensemble des paramètres, décrivant le comportement des variétés culturales considérées compte tenu des conditions naturelles de la zone, ont été sélectionnées et introduites dans le modèle.

Après avoir introduit toutes ces données, il est possible d'avoir un modèle de base qui puisse nous permettre d'analyser l'évolution des rendements et de l'érosion en fonction des techniques culturales et des pratiques utilisées. Cependant, avant qu'on ne se penche sur l'utilisation du modèle, il serait intéressant d'essayer de le valider afin qu'il reproduise la réalité ou du moins qu'il s'en rapproche le plus possible.

1.2 La validation du modèle EPICPHASE

EPICPHASE, comme l'indique Cabelguenne (1988), représente à lui seul un véritable traité d'agronomie, avec un fonctionnement basé sur la cohérence des interrelations sol-plante-climat-itinéraires techniques. Son utilisation passe cependant par un étalonnage et une validation rigoureux afin de préciser aux mieux la valeur des paramètres des fichiers qui le composent, et les adapter aux conditions du milieu étudié. Les 2 principaux fichiers sont le fichier sol et le fichier cultures qui doivent être constitués à partir d'observations issues de dispositifs expérimentaux.

L'étalonnage a été réalisé à Toulouse Auzeville à partir d'échantillons sol-plante prélevés sur le dispositif expérimental INRA systèmes de culture (Charpentreau et al.1986, Cabelguenne et al. 1986, 1988, 1990).

La validation consiste à simuler les pratiques culturales courantes et à comparer les résultats émanant de ces simulations à ceux réellement obtenus sur le terrain. Cette tâche nous paraît très difficile lors de l'utilisation de ce type de modèle, malgré les améliorations considérables apportées à la présente version d'EPICPHASE (Version 2.13) comparée à la version américaine.

Pour commencer, nous avons introduit dans le modèle qui contient un fichier sol bien déterminé, des itinéraires techniques réels relatifs à la culture de blé dur dont on connaissait les rendements. Ensuite, nous avons fait tourner le modèle pour observer l'évolution des rendements tout au long des années climatiques considérées. La

comparaison entre les données simulées et les données réelles nous a permis de constater que le modèle représente assez fidèlement les conditions pédoclimatiques de la zone considérée.

Une fois la validation du modèle pour le blé dur effectuée, on procède à celle des autres cultures et ceci pour chaque type du sol et pour chaque type d'itinéraire technique appliqué par les exploitations types. Les résultats obtenus, comme on peut le constater dans le tableau ci-après, sont très satisfaisants.

Les meilleures comparaisons concernent les cultures d'été : le modèle a bien simulé les effets de stress hydrique sur les cultures avec des rendements variant de 4 à 12 T/ha pour la pomme de terre, contre 6 à 14 T/ha en données mesurées. Pour la tomate les simulations sont de 21.65T/ha contre 21.90T/ha mesurés.

Les résultats des cultures d'hiver sont moins précis, notamment ceux des oléo protéagineux. En effet, compte tenu de la sensibilité de ces cultures aux maladies, et de la non prise en compte par EPICPHASE de leurs effets, on observe sur l'orge en verts des écarts plus importants qui n'excèdent cependant pas 10% par rapport aux rendements mesurés. Par contre les blés tendres, les blés durs, l'avoine et les orges s'inscrivent très bien dans les objectifs de rendements avec des écarts maxima de 3 à 4 q/ha.

Tableau.2.8 Validation du modèle EPICPHASE

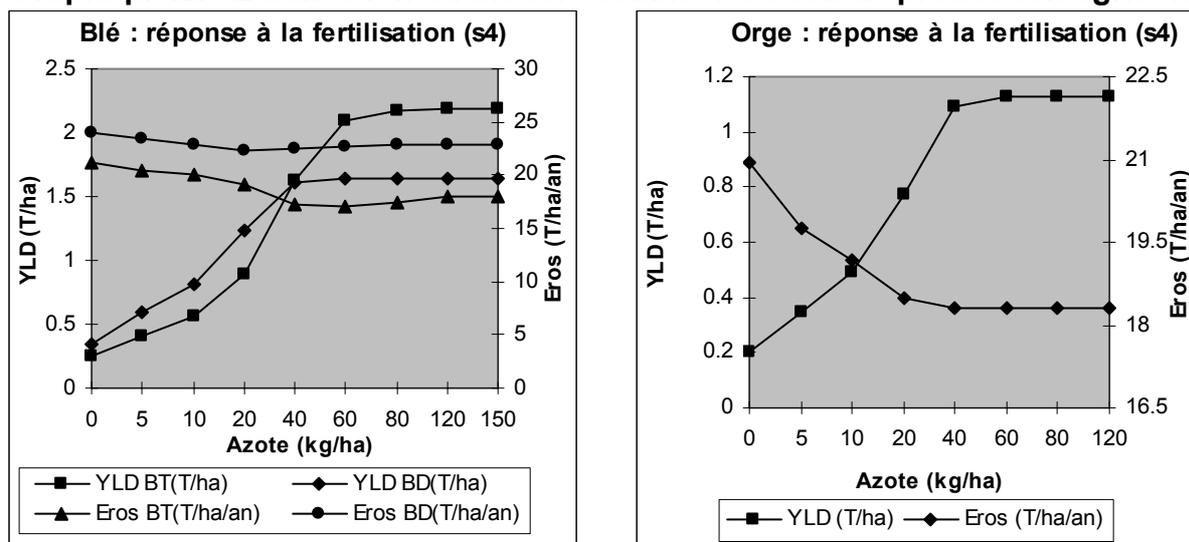
	Moyenne Simulée				Moyenne réelle			
	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4
Blé dur	1.53	1.09	1.34	1.15	1.50	1.15	1.30	1.00
Blé tendre	1.80	0.96	1.51	0.85	2.00	0.80	1.70	0.65
Orge	1.68	1.16	1.45	1.07	1.75	1.20	1.55	0.85
Orge en vert	8.50	5.80	7.25	5.35	9.00	6.00	7.00	4.50
Avoine foin	1.88	1.22	1.87	1.14	2.00	1.10	1.75	0.90
P. de terre	14.55	12.64	-	9.66	16.00	13.00	-	8.50
Tomate	23.45	23.00	-	18.5	24.00	23.50	-	18
Pastèque	14.89	10.37	-	12.00	15.50	10.00	-	12.50

Source: Résultats du modèle EPICPHASE

Une fois le modèle validé, l'estimation des coefficients techniques devient de plus en plus précise et l'évaluation de l'effet du sol, du climat, des pratiques et des rotations culturales sur les rendements et sur l'érosion devient de plus en plus pertinente.

A titre d'exemple, nous avons réalisé des centaines de simulations afin de montrer les effets sur les rendements et sur l'érosion des changements dans les quantités de fertilisants. Pour chaque culture et pour chaque type de sol, le modèle nous a permis d'obtenir une courbe de réponse à la fertilisation tel est le cas de l'orge et du blé ci-dessous (l'ensemble des résultats obtenus avec le modèle EPIC se trouve dans l'annexe).

Graphique.2.1 L'utilisation du modèle comme fonction de production agricole



Source : résultats du modèle EPICPHASE

Les résultats obtenus en terme de rendement, montrent, comme il était prévisible, que l'augmentation de la dose de fertilisant entraîne dans une première phase une augmentation plus que proportionnelle du rendement, ensuite une augmentation moins que proportionnelle et enfin une stagnation.

Pour ce qui est de l'érosion, l'augmentation de la fertilisation induit un accroissement de la production de biomasse qui suit la courbe du rendement et engendre à son tour une couverture du sol plus dense, ce qui diminue l'impact de la pluie sur le sol et par conséquent un niveau d'érosion plus faible.

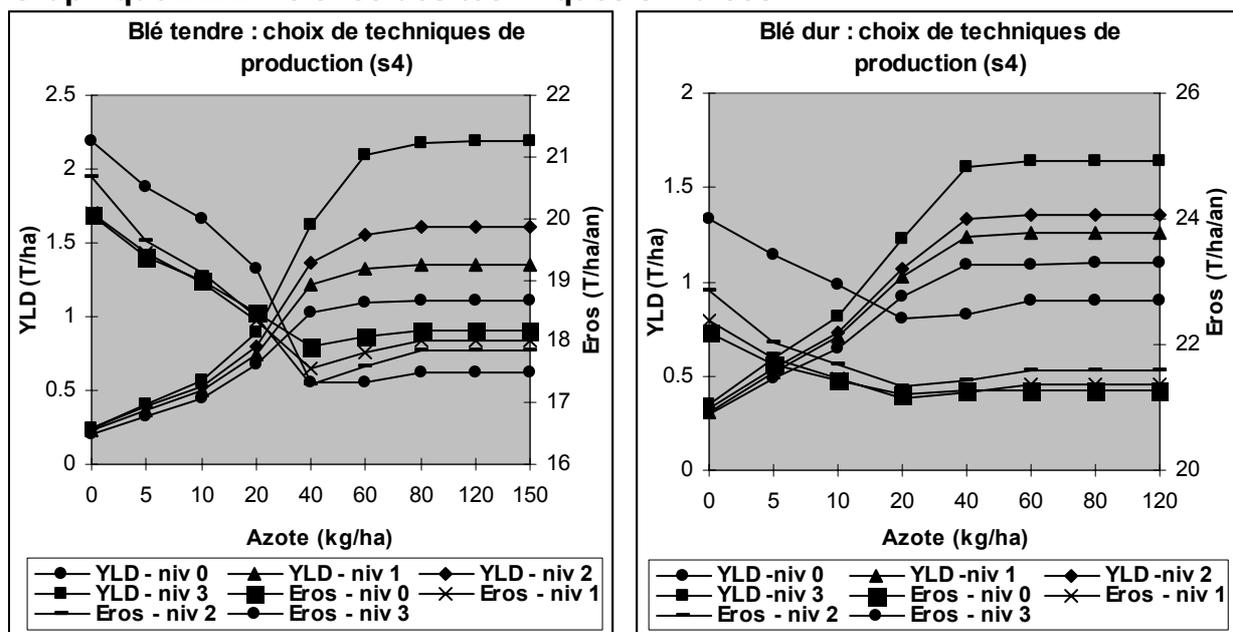
II. Choix des alternatives de production et détermination des coefficients techniques

Cette tâche consiste à la spécification des coefficients techniques destinés à être incorporés dans le modèle économique. Elle réside en la détermination pour chaque activité et en fonction des caractéristiques des sols, des spécificités variétales, des rotations, des pratiques culturales et des alternatives de production, les coefficients techniques nécessaires à l'analyse économique à savoir le rendement et l'érosion.

Dans le cas de Zaghouan, nous avons défini les activités comme composées des rotations de diverses cultures, y incluant, des cultures fourragères ou des périodes de jachère. Ce choix est justifié par le système de production qui existe réellement d'une part et le type de problématique que nous sommes en train d'étudier d'autre part. La monoculture continue n'est pas utilisée dans la région, ce qui est conforme avec ce que prônent les indications techniques. L'utilisation de cette hypothèse est rendue possible grâce à la présence d'un modèle capable de simuler dans le temps la succession des cultures sur une même parcelle (rotations culturales), et donc de prévoir l'état du sol en termes d'évolution du stock d'eau et des éléments fertilisants. En outre et sachant que l'intérêt principal porte sur l'analyse de l'impact de différentes alternatives et techniques de production sur le rendement et la ressource sol, l'application du modèle de simulation biophysique devrait nous permettre de sélectionner celles qui seront prise en compte pour l'analyse économique.

Appliqué à notre cas, le modèle nous a permis d'obtenir une multitude de paramètres techniques concernant un large éventail de techniques de production, toutes efficaces du point de vue agronomique. En effet, son utilisation en tant qu'une fonction de production représentant les rapports inputs-outputs, nous a ressortie, pour chaque culture, un éventail de techniques, aussi bien réelles que potentielles dont il est impossible de sélectionner les plus efficaces. A titre d'exemple, les graphiques ci-dessous montrent la multitude de techniques de production pour la même combinaison d'inputs (fertilisation et irrigation) et leurs effets aussi bien sur le rendement que l'érosion.

Graphique.2.2 Efficience des techniques simulées



Source: résultats du modèle EPICPHASE

Cependant, faut-il introduire dans le modèle économique plus d'une certaine de techniques différentes pour chaque culture considérée ? La réponse, certes, est connue et la solution que nous avons cru pertinente consiste à introduire des critères économiques et environnementaux pour établir ce choix.

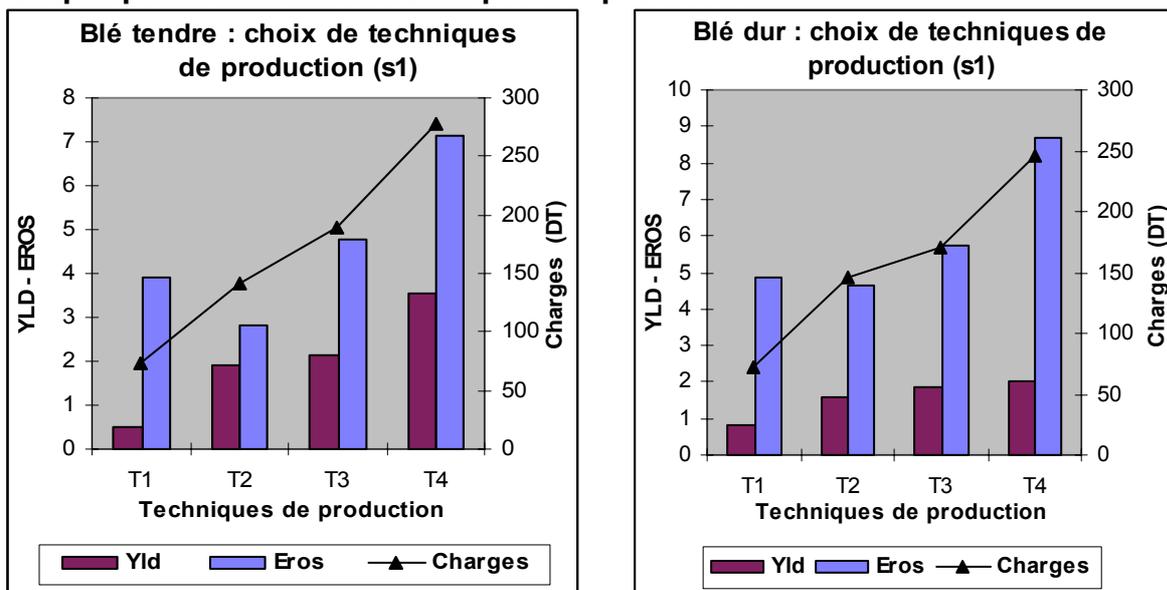
Les critères économiques se basent essentiellement sur la structure des prix relatifs aux facteurs de production (charges variables). Une technique T_k est économiquement efficiente si toutes les techniques T_i telles que $C_i < C_k$ produisent des rendements $Y_i < Y_k$. En d'autres termes, les techniques efficientes sont celles qui, pour une structure de prix donnée, produisent un rendement plus élevé que toute autre technique ayant un coût de production par hectare inférieur (Flichman G., 1990).

Quant aux critères environnementaux, ils sont représentés par le niveau d'érosion. Une technique T_k sera efficiente du point de vue environnemental si et seulement si toutes les techniques T_i tel que $E_i < E_k$ produisent des rendements $Y_i < Y_k$.

La superposition de ces deux critères permet de déterminer les techniques les plus efficientes du point de vue économique et environnemental, c'est-à-dire les techniques qui produisent un rendement élevé avec le moindre coût et le minimum d'érosion.

Nous avons retenu, pour le présent travail, quatre différentes techniques de production toutes efficientes aussi bien économiques qu'environnementales. Des techniques qui combinent divers types de gestion du sol avec distincts niveaux d'emplois d'intrants sans signifier un changement technologique : T1 : labour minimal de surface, T2 : labour minimal de surface avec fertilisation, T3 : labour profond avec fertilisation et T4 : labour profond avec fertilisation et avec irrigation. Le choix de ces techniques a pour but essentiellement de défendre l'hypothèse de non-convexité des fonctions d'externalité avancée antérieurement. Les graphiques ci-après montrent les résultats de l'application de ces techniques de production aux cultures du blé tendre et blé dur avec la jachère comme précédent cultural et sur un sol bien déterminé (S1).

Graphique.2.3 Choix de techniques de production



Source: résultats du modèle EPICPHASE

Ces résultats montrent que le passage d'une production avec une technique extensive de labour minimal (T1) qui libère un peu de fertilité à une technique extensive de labour minimal mais avec fertilisation (T2) conduit à une augmentation faible de la production mais permet de maintenir le sol couvert de végétation pendant toute l'année et donc à une perte du sol faible comparée à celle induite par la jachère travaillée. Le passage de T2 à une technique intensive de labour plus poussé qui libère beaucoup de fertilité et avec fertilisation (T3), conduit à une augmentation du rendement et des charges mais aussi à un niveau d'érosion proportionnellement plus élevé. L'intérêt de travailler davantage un sol est de libérer plus de fertilité "potentielle", utilisable par les plantes, ce qui permet d'augmenter le rendement. Mais son désavantage réside dans le fait que le sol devient plus vulnérable à l'action des éléments et donc plus sensible à l'érosion. Enfin, l'introduction de l'irrigation dans un système très intensif (T4) entraîne une augmentation relative du rendement et des charges, comparée à l'augmentation de l'érosion et parfois même à une baisse de celle-ci.

L'application de ces techniques est ensuite étendue à chaque activité qui est définie en fonction du précédent cultural, du type de sol et du groupe d'exploitation.

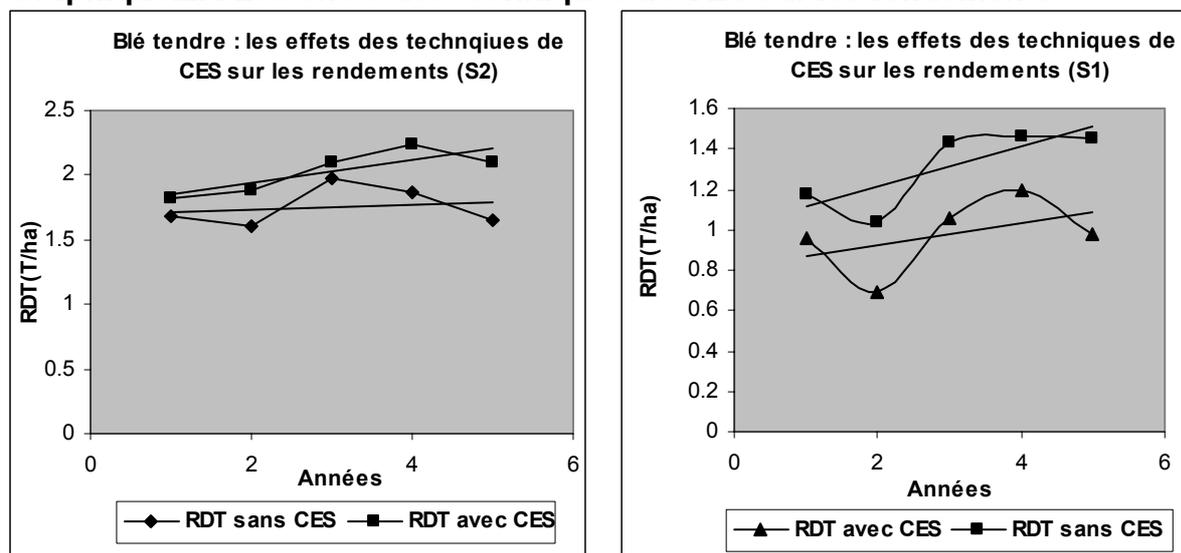
Après avoir validé le modèle et déterminé les techniques de production les plus adéquates, nous avons essayé de simuler, pour les diverses techniques de production, les effets des aménagements de conservation des eaux et du sol²⁹ (CES)

²⁹ Les aménagements de conservation des eaux et du sol sont des techniques pratiquées en Tunisie pour lutter contre l'érosion du sol et conserver la ressource eau. Ces aménagements peuvent avoir plusieurs composantes

sur les rendements des cultures. L'intérêt de cette simulation vise d'une part la quantification de la relation de cause à effet entre ces techniques CES et les rendements de culture aussi bien à court qu'à moyen terme et d'autre part la détermination du prix à payer pour réaliser cette conservation ainsi que la justification économique du considérable investissement entrepris, par l'Etat tunisien, dans ce domaine. En effet, la conservation de la ressource peut se traduire, du moins à court terme, par un ralentissement de la croissance économique. Il est donc important d'estimer le coût en terme de croissance de tout programme de protection des ressources et de l'environnement et inversement, le coût en terme de dégradation environnementale de toute croissance économique.

Pour illustrer ces effets, nous avons introduit dans le modèle, une fois validé, un fichier sol bien déterminé (S1) et des itinéraires techniques réels relatifs à la culture du blé tendre avec la jachère comme précédente culturale. Ensuite, nous avons fait tourner le modèle, sur une période de dix ans, pour observer l'évolution des rendements tout en changeant le paramètre du contrôle d'érosion. Les résultats obtenus, en terme de rendement, avec et sans ces techniques sont presque identiques et par conséquent les effets de ces travaux ne sont pas immédiats il faut attendre longtemps pour qu'on puisse percevoir cette efficacité. Ceci nous a conduit à lancer la simulation sur une longue période (40 ans) tout en comparant les résultats en terme de rendement des dix dernières années avec et sans techniques.

Graphique.2.4 Les effets des techniques de CES sur les rendements



Source: résultats du modèle EPICPHASE

Les résultats obtenus, et en particulier dans le sol avec pente forte (sol2), montrent,

telles que la construction des banquettes (les tabias) en courbe de niveau, la consolidation des ouvrages, l'implantation des bandes enherbées, etc. Dans ce travail et pour des raisons méthodologiques, nous allons simuler uniquement l'effet des banquettes et ceci en utilisant le modèle biophysique EPICPHASE qui est bien adapté pour une telle simulation.

d'après l'allure des droites de régression, une amélioration assez importante des rendements dans les sols aménagés et une stagnation dans les sols non aménagés. En effet, pour les mêmes conditions climatiques, mêmes types de sol, et mêmes techniques de production, les rendements moyens sont plus importants, en particulier à moyen et à long terme, lorsque les sols sont aménagés que lorsqu'ils sont non aménagés.

L'application de cette analyse est ensuite étendue à chaque culture qui est définie en fonction du précédent cultural, de la technique de production, du type de sol et du groupe d'exploitation sachant que la comparaison sera faite par rapport à la situation réelle et non pas par rapport au cas d'absence totale d'aménagement. Les résultats obtenus seront introduits dans le modèle économique et ceci afin de déterminer le niveau de subvention qu'il faut appliquer afin de promouvoir cette politique dont l'efficacité est en particulier à moyen et à long terme.

Conclusion : les atouts et les limites du modèle EPICPHASE

L'application du modèle biophysique EPICPHASE, nous a permis de dégager deux grands atouts qui justifient son étendue et son développement aussi bien dans le domaine agronomique qu'environnemental.

- Le modèle EPICPHASE est apte à générer des données qui correspondent à différentes situations climatiques, en conservant les mêmes types de variétés, niveaux de fertilisation, etc. Cela permet d'isoler l'effet de la variabilité des rendements due au climat, mieux qu'en utilisant des données réelles ou expérimentales, qui ont toujours beaucoup de "bruit". En effet, même pour estimer une fonction de réponse à l'azote il est difficile de disposer de données appropriées. Il est fréquent que les agronomes changent les variétés ou les techniques chaque année, ce qui empêche d'isoler l'influence de la variabilité climatique sur les rendements d'une manière rigoureuse. Cette capacité d'isolement rend donc possible une meilleure prise en compte du progrès technique et ceci en simulant les effets de l'introduction de nouvelles variétés, même si elles n'ont pas encore été expérimentées sur un site déterminé.
- L'utilisation du modèle EPICPHASE comme source d'information pour estimer la relation entre les fonctions de production y compris la production d'externalités, permet d'introduire un niveau de finesse et de précision impossible à atteindre par d'autres moyens. Ceci est dû au fait que les relations entre les rendements et la production d'externalités sont estimées dans le même système par des fonctions

mécanistes explicites. En effet, le modèle biophysique intégré simule des rendements en fonction de l'itinéraire technique, qui provoque aussi des effets concernant la dégradation des sols. L'ensemble de ces coefficients obtenus, en terme de rendement et d'érosion, seront incorporés dans la matrice du modèle économique qui fait l'objet du chapitre suivant.

Toutefois, bien qu'EPICPHASE simule la croissance de la plupart des cultures herbacées (et notamment des céréales), il n'est pas adapté pour simuler des cultures avec un développement important des racines, telles que les arbustes fourragers. Etant donné le rôle remarquable de ces arbustes dans la zone étudiée et pour ne pas les exclure de notre analyse, nous avons décidé d'utiliser les données issues des expérimentations agronomiques pour les coefficients de rendements et d'attribuer une valeur nulle pour les coefficients d'érosion puisque ces arbustes sont utilisés pour fixer le sol et lutter contre l'érosion.

CHAPITRE 3 : LE MODELE ECONOMIQUE : CONCEPTION ET CONSTRUCTION

Introduction

Notre recherche s'inscrit dans une perspective d'analyse des rapports de conflit et de complémentarité entre les techniques de production, la politique agricole et certains problèmes concernant l'environnement et les ressources naturelles à savoir l'érosion des sols. Cet objectif nécessite à la fois une représentation relativement fine de la structure des exploitations et des comportements des acteurs, des relations entre unités de production, et de l'impact sur l'environnement des différents itinéraires techniques. Un tel objectif ne peut être résolu ni par des modèles d'équilibre général qui donnent des indicateurs au niveau des différents secteurs et de la croissance de l'activité ni par des modèles individuels qui déterminent l'allocation optimale des ressources au niveau individuel sans indiquer les conséquences au niveau agrégé.

Nous avons décidé d'utiliser, dans notre travail, une modélisation intermédiaire d'équilibre partiel. Cette approche nous permet de visualiser l'évolution du secteur agricole au niveau de la région, la répartition de la production entre les exploitations et le rapport de conflit et de complémentarité entre les techniques de production, la politique agricole et certains problèmes concernant l'environnement aussi bien à l'intérieur des diverses exploitations qu'au niveau régional.

Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs exploitations représentatives de la région seront modélisées. Pour chacune, nous allons caractériser le comportement micro-économique du producteur et ceci en supposant que ce dernier cherche à maximiser son utilité espérée, tout en satisfaisant une série de contraintes concernant la terre, la main d'oeuvre, la consommation et les liquidités. Dans les modèles de ce type, appelés aussi modèles d'exploitation, le traitement des prix pose souvent problème et ils sont fréquemment laissés exogènes. Dans ce cas, ni l'incidence du comportement des producteurs sur les prix est prise en compte, ni l'effet en retour des prix sur les décisions de production et de consommation des ménages agricoles.

Afin de remédier à cette objection et de prendre en compte aussi bien l'effet prix que les échanges entre exploitations agricoles, nous allons essayer de relier l'ensemble de ces modèles d'exploitations représentatives dans un seul modèle qu'on qualifie de modèle agrégé. De ce fait, nous nous alignons sur la remarque de Ribier (1992) « les lois de comportement globales ne seraient obtenues que par la connaissance et l'agrégation des rationalités propres à chaque agent économique ».

La fonction objectif du modèle agrégé consiste à optimiser l'utilité privée régionale (utilité espérée globale) de la région par agrégation de l'utilité espérée provenant de chaque type de producteurs tout en garantissant le respect des normes en vigueur pour l'analyse de ces derniers c'est-à-dire en gardant les contraintes individuelles.

I. Le modèle économique d'exploitation

D'une manière générale, l'emploi d'un modèle d'optimisation permet de traduire les choix de production et les techniques adoptées, compte tenu des disponibilités en facteurs de production afin d'obtenir le maximum d'utilité. Son application vise essentiellement une modélisation de la conduite d'une exploitation face aux différentes conditions techniques, économiques et environnementales.

I.1 Les activités productives

Cette tâche consiste à spécifier les diverses activités productives destinées à être inscrites dans la matrice du modèle. Pour cela, il est nécessaire, d'un côté, de déterminer les besoins en ressources, en intrants, en main-d'œuvre, en capital... de chaque activité, et de l'autre, il faut déterminer les impacts de chaque activité au niveau de la production (rendements, biomasse, résidus, érosion, etc.) en fonction de diverses techniques de gestion, d'intensité...

Ces informations peuvent être collectées, auprès des dirigeants durant l'enquête, et complétées par l'avis des chercheurs régionaux. En revanche, la tâche devient plus complexe lorsque l'on se penche sur les effets de chaque alternative technique. Il faut alors se baser sur les résultats estimés et spécifier les fonctions de réponse ou utiliser les modèles de simulation biophysique.

I.1.1 Les activités végétales

Sachant que la région pratique aussi bien des cultures en irrigué que des cultures en sec, nous avons cherché à spécifier le type de technique utilisée. Chaque activité de production, X est définie en fonction de sept éléments différents :

C : culture (blé dur, blé tendre, orge, avoine, médicago, olive, amande, jachère, tomate, pomme de terre, fève, pastèque).

SO : sols (sol1, sol2, sol3, sol4)

PC : précédent cultural

S : produits stockables (grain, foin, paille, ensilage, fruit, DVC).

T : technique (T1, T2, T3, T4, T5, T6).

P : période (*p*1, *p*2, *p*3).

A : Année (*A*1, *A*2, *A*3)

Concernant l'inventaire des paramètres et des coefficients technico-économiques à retenir, nous l'avons établi aussi bien sur la base des normes régionales, que sur la base des données issues de la reconstitution des fiches technico-économiques des différentes spéculations pratiquées sur les exploitations enquêtées. Quant aux coefficients techniques en terme de rendement et d'érosion ils seront établis à partir du modèle EPICPHASE. En effet, pour les systèmes de production en cours, ces coefficients peuvent être collectés auprès du producteur durant l'enquête, et complétés avec l'avis des experts et/ou chercheurs régionaux. En revanche, la tâche devient plus complexe lorsqu'on se penche sur les effets des alternatives techniques nouvelles à considérer dans ces modèles économiques.

I.1.2 Les activités animales

Etant donné la multipériodicité et la récursivité de notre modèle, nous allons essayer de suivre l'évolution des effectifs animaux et le changement de leur régime alimentaire, année par année, tout en considérant la campagne 98/99 comme année de début de simulation. Pour cela, les paramètres et les critères techniques régionaux de conduites d'élevage à retenir seront ceux de l'année considérée.

Parmi ces paramètres retenus, on peut citer :

* Taux de fertilité	: 92 %	* Taux de mortalité	: 2,66 %
* Taux de réforme	: 15 %	* Taux de renouvellement	: 17 %
* Taux de prolificité	: 115 %	* Taux de fécondité	: 107 %

I.2 Formulation de la fonction objectif et prise en compte du risque

I.2.1 La fonction objectif sans risque

Dans un premier temps, la fonction objectif retenue dans la présente maquette de polyculture-élevage est du genre néoclassique - maximisation du revenu net espéré - , étant donné qu'elle permet de représenter la fonction d'utilité réelle du producteur rationnel malgré que cette hypothèse soit fortement discutable lorsqu'on l'applique rationalité des agriculteurs³⁰, d'autres estiment qu'ils sont rationnels mais que leurs objectifs ne sont pas ceux d'un entrepreneur capitaliste.

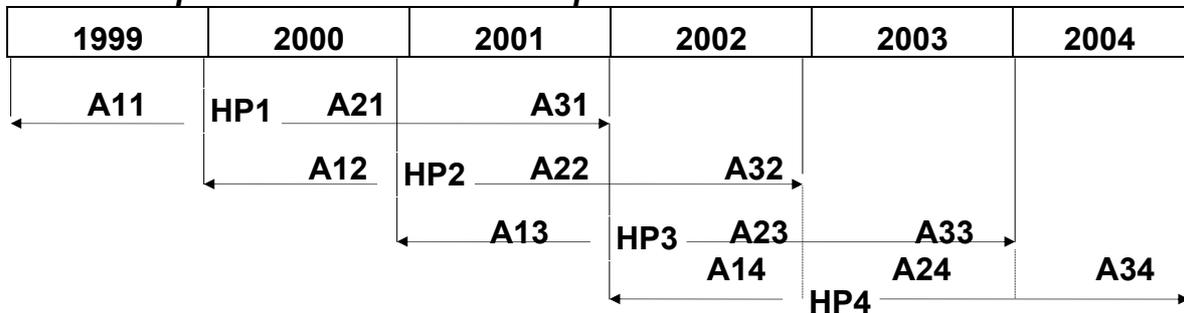
Toutefois, comme l'indique J.M. Boussard (190) << *il est pratiquement impossible de définir un comportement rationnel de façon purement théorique. En réalité, la seule*

³⁰ Leurs arguments s'appuient sur le fait que les agriculteurs font des choix autres que ceux qui, logiquement et selon la logique de l'analyste, c'est à dire une logique d'optimisation, devraient être fait.

justification de l'emploi d'un critère d'optimisation particulier, parmi tout ce que l'on peut envisager, est qu'il conduise à des plans optimaux voisins de ceux effectivement mis en oeuvre par les bons agriculteurs se trouvant dans la situation qui a servi de référence pour la construction du modèle >>. Donc, nous allons débiter la modélisation par l'utilisation de cette fonction, sachant qu'elle sera modifiée plus tard afin de s'aligner sur cette remarque de J.M. Boussard et pour avoir un modèle plus réaliste.

L'optimisation de cette fonction objectif se fait sur une durée allant de 1999 à 2004, obtenue par la translation des horizons de planification dont la durée est de trois ans chacun.

Schéma simplifié du modèle économique



Indications HP1 : horizon de planification 1 ;
 A11 : année 1 de l'horizon de planification1 ;
 A21 : année 2 de l'horizon de planification1.

Maximiser : RNE_{HP}

$$\text{Max : } Z_{HP} = RNE_{HP} = \sum_A [z_A]$$

Avec:

* Z_{HP} : le revenu net espéré par horizon de planification (RNE_{HP}).

- $$Z_A = \sum_{C,S,T,SO,PC,P} [V_{C,S,P,A} * PV_{C,S,A} + \Delta ST(fin - ini)_{C,S,P,A} * PR_{C,S,A}]$$

$$- X_{C,PC,SO,T,A} * E(CDV_{C,S,SO,T,N,A})$$

$$- \sum_{C,S,P} [A_{C,S,P,A} * PA_{C,S,A}]$$

$$+ \sum_{UZ,An,P} [(EFFPROD_{UZ,An,A} * PV_{UZ,'LAIT',A} + V_{UZ,An,p,A} * PV_{UZ,'VIAD',A}) * PRO_{An,M}]$$

$$- EFF_{UZ,An,P,A} * COA_{An,P,A} - QCA_{An,P,A} * PVC_A]$$

$$+ [(INISCEDE_{A-1} + SCEDE_A) * PLT_A * 0.95] - [(INISLOU_{A-1} + SLOU_A) * PLT_A]$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{TSM,P} [(HTCED_{TSM,P,A} * PLM_{TSM,A}) * 0.95] - \sum_{TSM,P} [HTLOU_{TSM,P,A} * PLM_{TSM,A}] \\
& + \sum_P [(MOCED_{P,A} * SLR_{P,A}) * 0.95] - \sum_P [MOLOU_{P,A} * SLR_{P,A}] \\
& - [NMP * CUP_A + CF_A] \\
& + \sum_P [INTOTR_{P,A} - INTOTP_{P,A}] \\
& - [EMPLT_{A,AC} * (AM_{AC} + TIL_{AC}/2)]
\end{aligned}$$

* Z_A : revenu net annuel espéré.

* $X_{C,PC,SO,T,A}$: superficie de chaque culture par type de sol, par précédent cultural, par technique et par an.

* $V_{C,S,P,A}$: quantité vendue par produit, par période et par an.

* $\Delta ST(\text{fin} - \text{ini})_{C,S,P,A}$: variation de stock par culture, par période et par an.

* $PV_{C,S,A}$ ³¹ : prix de vente anticipés des cultures par an.

* $PR_{C,S,A}$: prix de revient anticipés des cultures par an.

$$PR_{C,S,A} = 0.8^{32} * PV_{C,S,A}$$

* $E(Y_{C,S,SO,T,P,N})$: espérance des rendements par activité sur les états de la nature obtenus par EPICPHASE

* $E(CDV_{C,S,SO,T,N,A})$: espérance des charges directes par culture sur les états de la nature et par an obtenu par EPICPHASE.

* $A_{C,S,P,A}$: quantité des produits achetés

* $PA_{C,S,A}$: prix d'achat des cultures par produit et par an.

$$PA_{C,S,A} = 1.25^{33} * PV_{C,S,A}$$

³¹ Les prix des produits animaux et végétaux utilisés dans l'optimisation pour l'année A, sont ceux observés pendant l'année précédente (A-1). Ces prix sont exogènes pour l'année de départ, mais ils sont endogénisés pour le reste des années par un croisement de l'offre et de la demande.

$$P_i^A = \alpha_i Y_i^A + \beta_i \text{ avec } \alpha_i < 0 \text{ et } \beta_i > 0.$$

³² Le prix de revient est estimé à 80% du prix de vente anticipé.

* $V_{UZ,An,P,A}$: nombre d'animaux vendus par catégorie, par période et par an.

* $EFF_{UZ,An,P,A}$: effectif des animaux par catégorie, par période et par an.

* $EFFPROD_{UZ,An,A}$: effectif des vaches productrices par an.

* $PV_{UZ,M,A}$: prix de vente anticipés des produits animaux par an.

* $PRO_{An,M}$: production par animal en lait et en viande

* $COA_{An,P,A}$: charges directes par animal et par an.

* $QCA_{An,P,A}$: quantité du concentré acheté par animal, par période et par an.

* PVC_A : prix de vente du concentré.

* NMP : nombre de main-d'oeuvre permanente.

* CUP_A : coût unitaire de main-d'oeuvre permanente par an.

* CF_A : coût fixe annuel d'assurance et d'amortissement du matériel acheté antérieurement.

* $SLOU_A$: nombre hectares supplémentaires loués (repris en fermage) par an.

* $SCEDE_A$: nombre hectares supplémentaires cédés en location par

³³ Le coût de transaction est estimé à 25%. Celui des facteurs de production est de 5%.

an.

* $HTCED_{TSM,P,A}$: nombre d'heures de traction mécanisée cédée en location par catégorie d'opération (travail du sol et moisson) par période et par an.

* $HTLOU_{TSM,P,A}$: nombre d'heures de traction mécanisée louée par catégorie d'opération (travail du sol et moisson) par période et par an.

* $MOCED_{P,A}$: nombre d'heures de main d'oeuvre saisonnière cédée en location à l'extérieur par période et par an.

* $MOLOU_{P,A}$: nombre d'heures de main d'oeuvre saisonnière louée de l'extérieur par période et par an.

* PLT_A : prix de location de la terre ou du fermage par an.

* $PLM_{TSM,A}$: prix horaire de location du matériel par catégorie d'opération et

* τ : taux d'actualisation: exprime la préférence du décideur pour le présent par rapport à l'avenir. Le choix de ce taux est assez délicat, il diffère d'un agent à l'autre. Le caractère subjectif de ce taux est dû en fait à un certain nombre d'éléments, à savoir : Le rendement attendu de l'argent, le coût de financement, la durée de l'étude, l'inflation, les risques liés au projet, etc. L'unique référence au choix de ce taux est le taux d'intérêt à long terme. Ceci correspond aujourd'hui en Tunisie à,

- entre 12 et 13% en dinars courants et,

- entre 7 et 10% en dinars constants.

Pour le présent travail, ce taux est fixé, en fonction du taux d'intérêt réel, à 7% (taux réel en 1997), c'est-à-dire sans tenir compte ni de l'inflation ni de la prime du risque étant donné qu'elles sont incluses dans le modèle.

par an.

* $SLR_{P,A}$: prix horaire de la main d'oeuvre saisonnière par période et par an.

* AM_{AC} : taux d'amortissement annuel du capital investi par alternative de crédit.

* $INTOT_{P,A}$: total des intérêts à court terme payés par période et par an.

* $EMPLT_{A,AC}$: niveau des emprunts à long terme par an et par alternative de crédit.

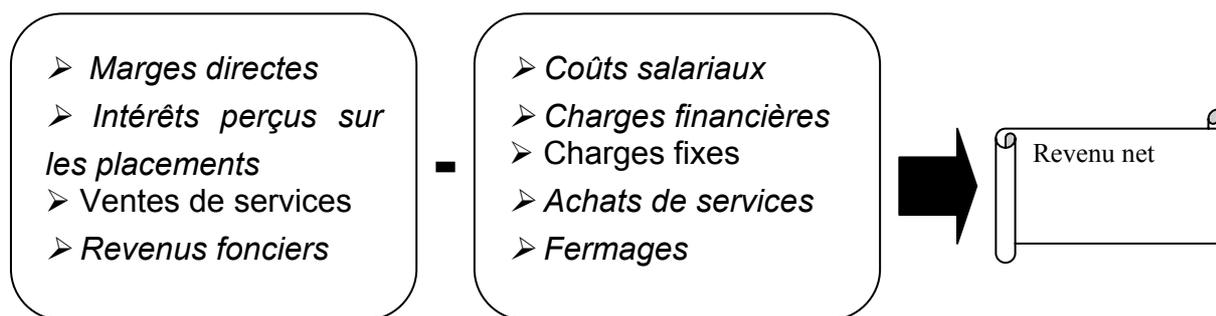
* $INTOTR_{P,A}$: total des intérêts reçus par période et par an.

* TIC : taux d'intérêt à court terme.

* TIL_{AC} : taux d'intérêt à long terme par alternative de crédit.

* PLA : taux de placement.

Avec Z_A : Revenu net annuel espéré



BILAN 1 (B1) : le bilan de la production végétale espérée

* Production végétale = vente + stock + quantité de produit distribuée pour bétail

$$B1 : X_{C,PC,SO,T,A} * E(Y_{C,S,SO,T,P,N}) = V_{C,S,P,A} + \Delta ST(fin - ini)_{C,S,P,A} + QDP_{C,S,P,A}$$

* Quantité totale distribuée au bétail = quantité produite distribuée pour bétail + quantité de produits achetée

$$QDT_{C,S,P,A} = QDP_{C,S,P,A} + A_{C,S,P,A}$$

$$B1 : X_{C,PC,SO,T,A} * E(Y_{C,S,SO,T,P,N}) = V_{C,S,P,A} + \Delta ST(fin - ini)_{C,S,P,A} + QDT_{C,S,P,A} - A_{C,S,P,A}$$

* $E(Y_{C,S,SO,T,P,N})$: espérance des rendements par activité sur les états de la nature

$$E(Y_{C,S,SO,T,P,N}) = \sum_N (Y_{C,S,SO,T,P,N} * PROB_N)$$

* $QDP_{C,S,P,A}$: quantité produite distribuée pour bétail (cession interne).

* $QDT_{C,S,P,A}$: quantité totale distribuée pour bétail.

* $QDP_{C,S,P,A}$: quantité de produits achetée.

Marge directe : la différence entre les recettes totales, provenant des ventes, et les charges directes (charges de culture et d'élevage, d'alimentation, d'approvisionnement) représente ce que l'on appelle généralement la marge directe. Elle est calculée par hectare pour chaque culture et par catégorie d'animal pour chaque race. Dans cette marge directe sont déjà comptabilisés les charges d'approvisionnements en fertilisants et produits phytosanitaires et les coûts liés au travail de la terre (carburants, entretien).

$$* \text{La marge directes} = \sum_{C,S,SO,T,PC,P} [V_{C,S,P,A} * PV_{C,S,A} + \Delta ST(fin - ini)_{C,S,P,A} * PR_{C,S,A}$$

$$- X_{C,PCSO,T,A} * E(CDV_{C,S,SO,T,N,A})]$$

$$- \sum_{C,S,P} [A_{C,S,P,A} * PA_{C,S,A}] + \sum_{UZ,An,P} [(EFFPROD_{UZ,An,A} * PV_{UZ,LAIT,A} + V_{UZ,An,p,A} * PV_{UZ,VIAD,A}) *$$

$$PRO_{An,M} - EFF_{UZ,An,P,A} * COA_{An,P,A} - QCA_{An,P,A} * PVC_A]$$

Les ventes de services : le modèle optimise le nombre d'heures en main d'œuvre et

en traction mécanisée (travail de sol et de moisson) qui peuvent être vendus à l'extérieure en cas de non-besoin au sein de l'exploitation. Ce nombre d'heures pondéré par le prix horaire respectivement de la main d'œuvre saisonnière et de la location du matériel donne le montant total de ces ventes (ces prix horaires sont exogènes).

$$* \text{ Les ventes de services } = \sum_{TSM,P} [HTCED_{TSM,P,A} * PLM_{TSM,A} * 0.95] + \sum_P [MOCED_{P,A} * SLR_{P,A} * 0.95]$$

Les intérêts reçus sur les placements : ce sont les revenus issus de placements.

Intérêts reçus par période ($INTOTR_{P,A}$) = montant des placements par période * taux de placement par période.

Les placements constituent une variable endogène qui est à optimiser par le modèle et ceci en indiquant le montant et le moment propice pour effectuer des placements, par contre le taux de placement est une donnée exogène que l'on fixe à 5%.

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 de fermage, paramètre exogène.

$$* \text{ Les revenus fonciers } = [(INISCEDE_{A-1} + SCEDE_A) * PLT_A * 0.95]$$

Les coûts salariaux : Ils sont exprimés par période et dépendent du nombre d'heures de travail et de leur 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). Ce nombre d'heures saisonnières pondéré par le prix horaire de la main d'œuvre saisonnière donne le montant des coûts salariaux saisonniers. Ajouté à ces coûts saisonniers la rémunération de la main-d'œuvre salariale permanente qui est considéré comme un coût exogène, nous donne le montant total des coûts salariaux.

$$* \text{ Les coûts salariaux } = [NMP * CUP_A] + \sum_P [MOLOU_{P,A} * SLR_{P,A}]$$

Les charges financières : Elles proviennent des emprunts à court terme réalisés à un taux d'intérêt annuel moyen de 12% et des emprunts à court terme contractés pour compenser les découverts avec toujours le même taux d'intérêt annuel moyen de 12%. Ce sont des variables endogènes dont les montants et les dates de réalisation sont optimisés par le modèle.

Intérêts payés ($INTOTP_{P,A}$) = (montant des emprunts à court terme par période + montant des emprunts à court terme pour compenser les découverts par période) * taux d'intérêt à court terme par période.

Les charges fixes : il s'agit des frais généraux (assurance, impôts, taxes..) mais aussi des amortissements du matériel et du capital investi ainsi que les intérêts versés relatifs à l'encours à moyen et long terme initial. Cet encours est supposé présenter des conditions de remboursement et des taux d'intérêt différents selon chaque alternative de crédit. Ces charges n'interviennent pas dans le choix de la solution optimale de l'année en cours puisqu'elles sont exogènes, à l'exception des intérêts, mais influencent les résultats futurs par le biais de la récursivité du montant de la trésorerie d'une année à l'autre.

$$* \text{ Les charges fixes} = [CF_A] + [EMPLT_{A,AC} * (AM_{AC} + TIL_{AC}/2)]$$

Les achats de services : le modèle optimise les besoins en heures supplémentaires pour les opérations de travail de sol et les travaux de moisson. Ce nombre d'heures pondéré par le prix horaire de la location du matériel donne le montant total de ces achats.

$$* \text{ Les achats de services} = \sum_{TSM,P} [HTLOU_{TSM,P,A} * PLM_{TSM,A}]$$

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.

$$* \text{ Le fermage} = [(INISLOU_{A-1} + SLOU_A) * PLT_A]$$

1.2.2 La fonction objectif avec risque

Nous avons adopté la méthode espérance - écart type inspirée par la méthode espérance - variance proposée par Freund en 1956. Cette méthode, comme nous l'avons déjà signalé, suppose que l'agriculteur est prêt à une certaine perte de revenu en échange d'une diminution du risque. Elle consiste donc à maximiser non plus le revenu espéré mais plutôt une fonction d'utilité espérée U_{HP} ³⁴ qui est définie comme une combinaison non linéaire du risque et du revenu net annuel espéré.

$$\text{Max : } U_{HP} = \sum_A [Z_A - \phi \cdot \sigma_A]$$

Avec:

Z_A : revenu net annuel espéré;

σ_A : écart type par rapport à l'espérance du revenu annuel ;

³⁴ L'utilité espérée à maximiser par cette méthode essaye de se rapprocher à celle définie dans le modèle de Savage en 1954, comme celle définie dans la théorie plus générale de l'utilité espérée de Neumann (1944) dans laquelle il s'insère, et qui mesure la satisfaction que le décideur peut légitimement associer à chaque conséquence possible compte tenu des probabilités attachées aux faits incertains (Schmidt Ch., 1995).

- ϕ : coefficient d'aversion au risque³⁵ ;
 U_{HP} : utilité espérée par horizon de planification.

L'écart type est calculé d'une façon endogène à partir des déviations totales entre le revenu net annuel espéré Z_A et le revenu en fonction des états de nature (N) et des variations de prix (PI) ($Z_{N,PI,A}$), exprimé par :

$$ECTY = \sigma_A = \left[\left(\sum_{N,PI,HP} DEV_{N,PI,A} \right)^2 * 1/T \right]^{1/2}$$

* T : nombre d'observations (défini dans notre modèle par la variabilité des rendements des cultures et des prix).

* $DEV_{N,PI,A} = Z_A - Z_{N,PI,A}$

Avec:

- $Z_{N,PI,A} = \sum_{C,S,SO,T,PC,P} [(V_{C,S,P,N,A} * PV_{C,S,A} + \Delta ST(fin - ini)_{C,S,P,N,A} * PR_{C,S,A}) * VP_{C,S,PI}$
- $X_{C,PC,SO,T,A} * (CDV_{C,S,SO,T,N,A})$
- $\sum_{C,S,P} [A_{C,S,P,N,A} * PA_{C,S,A} * VP_{C,PI}]$
- + $\sum_{UZ,An,P} [(EFFPROD_{UZ,An,A} * PV_{An,'LAIT',A} + V_{UZ,An,p,A} * PV_{UZ,'VIAD',A}) * PRO_{An,M} * VP_{An,PI}$
- $EFF_{UZ,An,P,A} * COA_{An,P,A} - QCA_{An,P,A} * PVC_A]$
- + $[(INISCEDE_{A-1} + SCEDE_A) * PLT_A * 0.95]$
- $[(INISLOU_{A-1} + SLOU_A) * PLT_A]$
- + $\sum_{TSM,P} [(HTCED_{TSM,P,A} * PLM_{TSM,A}) * 0.95] - \sum_{TSM,P} [HTLOU_{TSM,P,A} * PLM_{TSM,A}]$
- + $\sum_P [(MOCED_{P,A} * SLR_{P,A}) * 0.95] - \sum_P [MOLOU_{P,A} * SLR_{P,A}]$
- $[NMP * CUP_A + CF_A]$
- + $\sum_P [INTOTR_{P,A} - INTOT_{P,A}]$
- $\sum_{AC} [EMPLT_{A,AC} * (AM_{AC} + TIL_{AC}/2)]$

* $Z_{N,PI,A}$: revenu en fonction des états de la nature(N) et des variations des prix (PI)

* $V_{C,S,P,N,A}$: quantité vendue par produit et en fonction des états de la nature N.

* $\Delta ST(fin - ini)_{C,S,P,N,A}$: variation de stock en fonction des états de la nature N.

* $VP_{C,PI}$: coefficient de variation des prix des cultures

³⁵ Le coefficient d'aversion au risque varie selon l'attitude des agriculteurs : il est plus fort en cas d'aversion pour le risque et moins fort en cas d'une attitude plus « preneuse » de risque.

- * $VP_{An,PI}$: coefficient de variation des prix des animaux
- * $Y_{C,S,SO,T,P,N}$: rendement des cultures en fonction des états de la nature N
- * $CDV_{C,S,SO,T,N,A}$: charges directes des cultures en fonction des états de la nature N
- * $A_{C,S,P,N,A}$: quantité des produits achetés en fonction des états de la nature N.

BILAN 2 (B2) : le bilan de la production végétale en fonction des états de la nature N

* Production végétale (N) = vente (N) + stock(N) + quantité distribuée pour bétail (N)

$$B2 : X_{C,PC,SO,T,A} * Y_{C,S,T,P,N} = V_{C,S,P,N,A} + \Delta ST(fin - ini)_{C,S,P,N,A} + QDT_{C,S,P,N,A} - A$$

C,S,P,N,A

- * $V_{C,S,P,N,A}$: quantité vendue par produit et en fonction des états de la nature N.
- * $\Delta ST(fin - ini)_{C,S,P,N,A}$: variation de stock en fonction des états de la nature N.
- * $A_{C,S,P,N,A}$: quantité des produits achetés en fonction des états de la nature N.
- * $QDT_{C,S,P,N,A}$: quantité totale distribuée pour bétail en fonction des états de la nature N.

1.3 Formulation des contraintes de multipériodicité

Le terme multipériodique signifie que chaque année on optimise le revenu des trois années à venir (on a appelé ces 3 ans : horizon de planification). On définit une situation initiale et on choisit des plans de production pour les années à venir en tenant compte de toute l'information disponible sur le futur, à savoir les anticipations sur les prix et sur les rendements.

La formulation de ces types de contraintes de programmation consiste à écrire toutes les relations qui limitent le choix des valeurs possibles des variables de décision. Cette formulation traduit la concurrence qui existe entre plusieurs activités ou variables pour l'emploi d'une ressource limitée ainsi que l'influence du choix d'un certain plan de production d'une année sur l'année qui suit.

1.3.1 Contraintes agronomiques

A. Occupation du sol

Avec cette contrainte, notre objectif est de limiter, pour chaque année, la somme des superficies consacrées aux différentes activités de production à une superficie inférieure ou égale à la surface agricole utile disponible pendant l'année précédente majorée des hectares supplémentaires repris en fermage et diminuée des terres cédées en location.

$$\sum_{C,T,SO,PC} X_{C,T,SO,PC,A} \leq SAU_{A-1} + SLOU_A - SCEDE_A$$

- * SAU_A : surface agricole utile par an,
- * $SLOU_A$: hectares supplémentaires loués (repris en fermage),
- * $SCEDE_A$: hectares supplémentaires cédés en location.

Les hectares cédés ne peuvent être prélevés que sur le foncier en propriété :

$$SCEDE_A \leq PROP_A$$

- * $PROP_A$: hectares en propriété.

B. Rotation culturale

La présente contrainte montre que la superficie de chaque culture avec un précédent cultural (pc) pour l'année (A) ne peut pas dépasser la superficie consacrée à cette culture au cours de l'année (A-1).

$$\sum_{C,SO,T} X_{C,T,SO,PC,A} \leq \sum_{PC,SO,T} X_{C,T,SO,PC,A-1}$$

I.3.2 Contraintes de main-d'oeuvre

Du fait du caractère saisonnier de l'activité agricole, cette contrainte doit s'écrire non seulement pour chaque type de travail, mais aussi pour chaque période de l'année susceptible de devenir un goulot d'étranglement pour l'utilisation de cet input. Ceci entraîne de nombreuses conséquences pour l'évaluation du coût d'opportunité des inputs agricoles (Boussard J.M., 1987).

Le manque de main-d'oeuvre permanente, d'une part, et l'existence d'un caractère saisonnier des activités agricoles, d'autre part, conduisent les agriculteurs à recruter de la main-d'oeuvre occasionnelle pour accomplir certains travaux.

Pour formuler cette contrainte, nous avons supposé que, pour chaque période, la somme des besoins en main-d'oeuvre de chaque activité ne devrait pas dépasser les ressources en main-d'oeuvre disponibles pendant cette période aidée par des employés saisonniers si besoin et ôtées des ressources en main d'oeuvre cédées à l'extérieur³⁶.

En effet, la main d'oeuvre, au sein d'une exploitation agricole, qu'elle soit familiale ou salariée peut être utilisée de deux manières différentes : soit pour réaliser les travaux

³⁶ Les coûts de la main d'oeuvre louée et cédée sont comptabilisés respectivement dans les charges directes et les ventes de service qui sont expliqués dans la fonction objectif.

agricoles au sein de cette exploitation et sa rétribution est comprise dans le bénéfice global de cette exploitation, soit pour rechercher un emploi hors de l'exploitation, en cas de non besoin pour cette dernière et dans la limite de la demande extérieure (d'autres exploitations, d'autres secteurs, d'autres régions), et percevoir un salaire.

$$\sum_{C,SO,T,PC} X_{C,SO,T,PC,A} * BMC_{C,T,P} + \sum_{An} EFF_{An,P,A} * BMA_{An,P} \leq HDM_{P,A} + MOLOU_{P,A} - MOCED_{P,A}$$

Toutefois, l'exploitant ne peut pas offrir plus d'heures de main d'œuvre qu'il n'en possède et il ne peut non plus louer que lorsqu'il à besoin.

$$MOCED_{P,A} \leq HDM_{P,A}$$

$$MOLOU_{P,A} \leq \sum_{C,SO,T,PC} X_{C,SO,T,PC,A} * BMC_{C,T,P} + \sum_{An} EFF_{An,P,A} * BMA_{An,P}$$

- * $BMC_{C,T,P}$: besoin en main-d'oeuvre par culture et par période.
- * $BMA_{An,P}$: besoin en main-d'oeuvre par catégorie d'animaux et par période.
- * $HDM_{P,A}$: nombre de main-d'oeuvre disponible par période et par an.
- * $MOLOU_{P,A}$: nombre de main-d'oeuvre louée par période et par an.
- * $MOCED_{P,A}$: nombre de main-d'oeuvre cédée par période et par an.

I.3.3 Contraintes de traction mécanique

Au même titre que les besoins en main-d'oeuvre, la somme des besoins en heures de traction pour chaque activité et par période doit être inférieure ou égale au nombre d'heures de traction disponible pour chaque période majorée (si besoin) par des heures de traction louées à une exploitation ou entreprise extérieure et ôtée des heures de traction cédées³⁷.

$$\sum_{C,SO,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * BTC_{C,T,P,TSM} + \sum_{An} EFF_{An,P,A} * BTA_{An,P,TSM} \leq HDT_{TSM,P,A} + HTLOU_{TSM,P,A} - HTCED_{TSM,P,A}$$

Toutefois, l'exploitant ne peut offrir plus d'heures de mécanisation qu'il n'en dispose et il ne peut non plus louer que lorsqu'il à besoin.

$$HTCED_{TSM,P,A} \leq HDT_{TSM,P,A}$$

$$HTLOU_{TSM,P,A} \leq \sum_{C,SO,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * BTC_{C,T,P,TSM} + \sum_{An} EFF_{An,P,A} * BTA_{An,P,TSM}$$

³⁷ Les coûts des heures de traction mécanisée louées et cédées sont comptabilisés respectivement dans les charges directes et les ventes de service qui sont expliqués dans la fonction objectif.

- * $BTC_{C,T,P,TSM}$: besoin en heures de traction par culture et par période.
- * $BTA_{An,P,TSM}$: besoin en heures de traction par catégorie d'animaux et par période.
- * $HDT_{TSM,P,A}$: nombre d'heures de traction mécanisée disponible par catégorie d'opération (travail du sol et moisson), par période et par an.
- * $HTLOU_{TSM,P,A}$: nombre d'heures de traction mécanisée louée par catégorie d'opération (travail du sol et moisson), par période et par an.
- * $HTCED_{TSM,P,A}$: nombre d'heures de traction mécanisée cédée par catégorie d'opération (travail du sol et moisson), par période et par an.

I.3.4 Contraintes relatives à l'élevage

A. Contrainte alimentation³⁸

Afin de garantir une ration alimentaire optimale capable de satisfaire les besoins et de remédier aux imperfections alimentaires, on a choisi de formuler et de mettre en concurrence les besoins alimentaires des animaux ainsi que la valeur alimentaire des différents produits de fourrages. Cette formulation permettra de chercher l'adéquation permanente entre les besoins des animaux et les ressources alimentaires disponibles.

➤ Besoin énergétique

La somme des besoins en unités fourragères ($BUF_{An,P}$) de chaque catégorie d'animaux par période doit être inférieure ou égale au nombre d'unités fourragères disponibles par période.

$$\begin{aligned} \sum_{An} EFF_{An,P,A} * BUF_{An,P} \leq & \sum_{C,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * UFPAT_{C,T,P} + \\ & + \sum_{C,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * UFCHCER_{C,T,P} + \\ & + \sum_{C,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * UFCHFOI_{C,T,P} + \\ & + \sum_{C,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * UFCHMARI_{C,T,P} + \\ & + \sum_{An,C,S} QDIS_{An,C,S,P,A} * UFS_{C,S} + \\ & + \sum_{An,C} QCDIS_{An,P,A} * UFCC \end{aligned}$$

* $UFPAT_{C,T,P}$: Unité fourragère des arbustes fourragers pâturés

⁶ Les valeurs des aliments et leur teneur en matière sèche ainsi que les besoins des animaux et leur capacité d'ingestion sont déterminés à partir des « Tables des valeurs alimentaires des aliments utilisés en Tunisie dans l'alimentation du bétail » (Abdouli.H, Kariem.K, 1989)

- * $UFCHCER_{C,T,P}$: Unité fourragère du chaume de céréales
- * $UFCHFOI_{C,T,P}$: Unité fourragère du chaume de foin
- * $UFCHMARI_{C,T,P}$: Unité fourragère du chaume de culture maraîchère
- * $UFS_{C,S}$: Unité fourragère des aliments distribués
(concentré non compris)
- * $UFCC$: Unité fourragère de concentré
- * $QDIS_{An,C,S,P,A}$: Quantités des aliments distribués par animal
- * $QCDIS_{An,P,A}$: Quantités de concentré distribués par animal

➔ Besoin en matière sèche

Identique au besoin énergétique, seulement on remplace le besoin en unités fourragères par le besoin en matières sèches ($BMS_{An,P}$).

$$\begin{aligned} \sum_{An} EFF_{An,P,A} * BMS_{An,P} \leq & \sum_{C,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * MSPAT_{C,T,P} \\ & + \sum_{C,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * MSCHCER_{C,T,P} \\ & + \sum_{C,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * MSCHFOI_{C,T,P} \\ & + \sum_{C,T,PC} X_{C,T,SO,PC,A} * MSCHMARI_{C,T,P} \\ & + \sum_{An,C,S} QDIS_{An,C,S,P,A} * MSS_{C,S} + \\ & + \sum_{An,C} QCDIS_{An,P,A} * MSCC \end{aligned}$$

* MS: Matière sèche

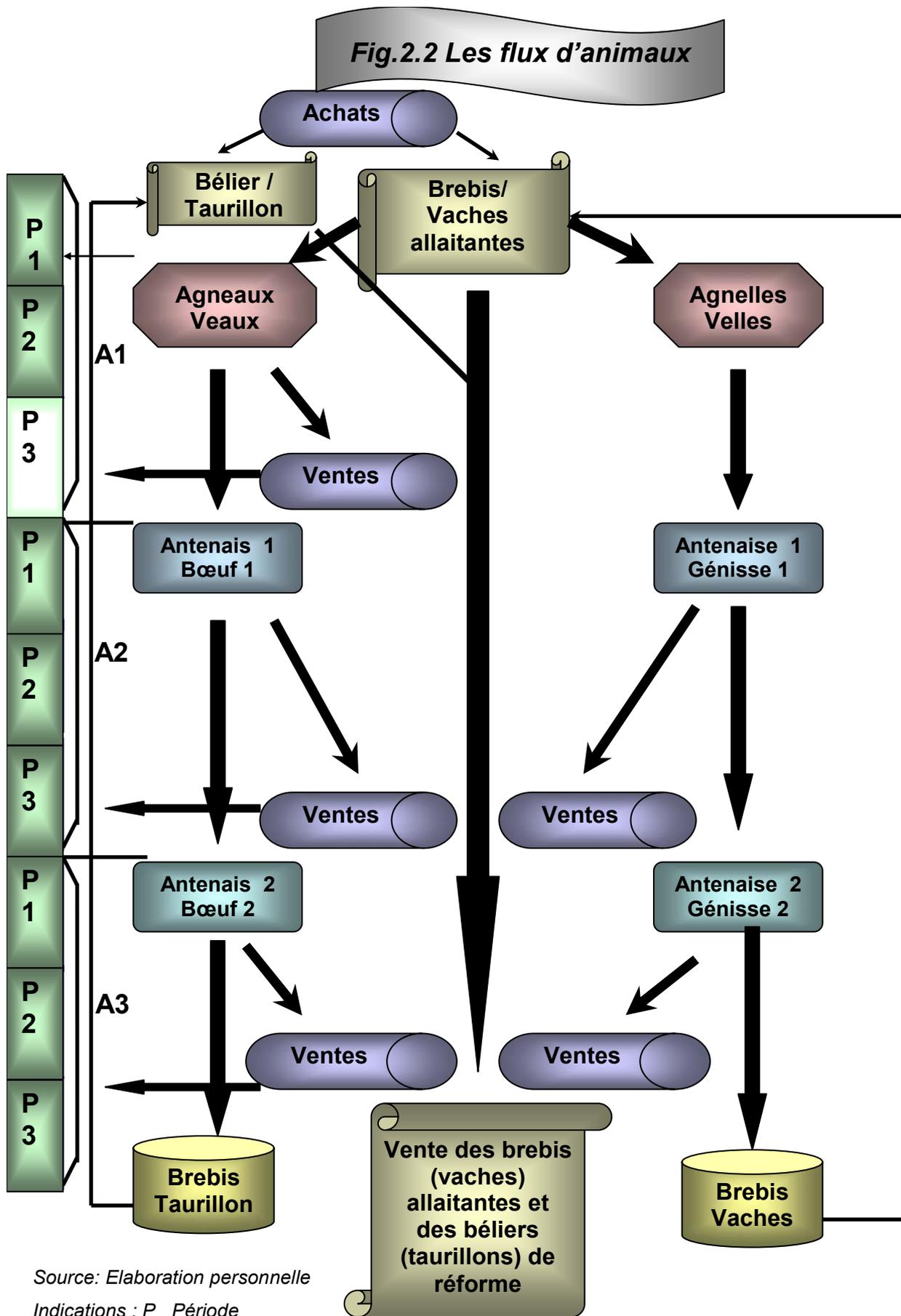
➔ Ration alimentaire

30% et 40% des besoins alimentaires respectivement des ovins et des bovins doivent être fournis par des cultures de grains et par des concentrés.

$$\begin{aligned} 30\% \left(\sum_{OV} EFF_{OV,P,A} * BUF_{OV,P} \right) \leq & \sum_{OV,C} QDIS_{OV,C,P,A} * UFS_{C,'GRAIN'} \\ & + \sum_{OV,P} QCDIS_{OV,P,A} * UFCC \\ 40\% \left(\sum_{BOV} EFF_{BOV,P,A} * BUF_{BOV,P} \right) \leq & \sum_{BOV,C} QDIS_{BOV,C,P,A} * UFS_{C,'GRAIN'} \\ & + \sum_{BOV,P} QCDIS_{BOV,P,A} * UFCC \end{aligned}$$

B. Contrainte renouvellement du troupeau

Les effectifs se raisonnent période par période, ce qui permet de suivre très précisément leur évolution en fonction des naissances, des ventes et des changements de catégorie. Cependant, vu la multiplicité des équations expliquant l'évolution des effectifs pour chacune des catégories d'animaux, nous avons préféré la montrer sous forme graphique, sachant qu'on détaille toutes les équations dans le programme GAMS dans la partie annexes.



1.3.5 Contrainte emprunt

Le modèle offre la possibilité de réaliser des emprunts aussi bien à long terme qu'à court terme mais il suppose l'existence de deux contraintes relatives à chacune des deux. La première concerne les emprunts à court terme, est suppose que la banque fixe un montant maximum annuel d'engagement que l'exploitant ne peut dépasser. Ce montant est fixé en fonction du système de culture et de production pratiqués par l'exploitant.

$$\sum_P EMPCT_{P,A} \leq MAXECT_A$$

$$MAXECT_A = \sum_{C,SO,PC,T} X_{C,SO,PC,T,A} * MAXEC_{C,T}$$

* $EMPCT_{P,A}$: niveau des emprunts à court terme par période et par A

* $MAXEC_{C,T}$: montant maximum annuel des prêts à court terme par culture et par technique accordé par la banque.

* $MAXECT_A$: montant maximum annuel des prêts à court terme accordé par la banque.

En outre, en ce qui concerne les emprunts à court terme, étant donné qu'ils sont annuels, et afin de compenser les découverts par période, la banque offre à l'exploitant la possibilité de réaliser des emprunts spécial découvert tout en fixant un montant limité.

$$\sum_P EMPCTD_{P,A} \leq MAXECTD_A$$

* $EMPCTD_{P,A}$: Niveau des emprunts à court terme pour compenser les découverts par période et par A

* $MAXECTD_A$: Montant maximum annuel des prêts accordés par la banque pour compenser les découverts par période et par A

La seconde contrainte, liée aux emprunts à long terme, indique que ces derniers sont empruntés seulement pour financer les investissements en capital. Ces investissements peuvent être destinés, soit à l'achat des biens d'équipements, soit au projet de conservation des eaux et du sol. Chaque alternative peut présenter des conditions de remboursement et des taux d'intérêt différents.

$$\sum_{AC} EMPLT_{AC,A} = INV_{CES,A} + INV_{BEQ,A}$$

$$\sum_{AC} EMPLT_{AC,A} \leq MAXEMPLT_A$$

$$INV_{CES,A} = COMP_{TCES,A} * COU_{TCES,A}$$

${}^eCOMP_{TCES,A}$: les composantes du projet CES en ha par technique et par an

${}^eCOU_{TCES,A}$: les coûts par ha du projet CES par technique et par an.

* $INV_{CES,A}$: investissement en matière de CES

* $INV_{BEQ,A}$: investissements pour l'achat des biens d'équipements.

* $EMPLT_{AC,A}$: niveau des emprunts à long terme par alternative de crédit et an.

* $MAXEMPLT_A$: montant maximum annuel des emprunts à long terme autorisé par la banque.

I.3.6 Contrainte trésorerie

La contrainte trésorerie présente une spécificité particulière qui se manifeste par la présence de deux types de trésoreries : une trésorerie prévisionnelle obtenue en fonction des prix anticipés et une trésorerie réelle obtenue en utilisant les prix observés (prix réels).

Le solde de trésorerie réelle de la période précédente, majoré des rentrées monétaires de la période et diminué des déboursements périodiques, donne l'état de la trésorerie de la période en cours.

Solde de trésorerie de la période

Dépenses périodiques : charges directes, charges fixes, location de terre, location de matériel, intérêts payés, remboursements emprunts, placements par période et prélèvements familiaux.	Solde de trésorerie de la période précédente
Solde de trésorerie périodique	Recettes périodiques : ventes, location de terre, location de matériel, emprunt périodiques, intérêts perçus et revenu extra-agricole.

La trésorerie du début de l'année correspond à la trésorerie réelle 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.

Solde de trésorerie annuelle

Annuités de remboursement des emprunts de l'année précédente	Solde de trésorerie de l'année précédente
Solde de trésorerie annuelle	Epargne annuelle

- $CASH_{P,A} = \sum_{C,S,SO,T,PC} [V_{C,S,P,A} * PV_{C,S,A} * PR_{C,S,A}$

$$\begin{aligned}
 & - X_{C,PC,SO,T,A} * (E(CDV_{C,S,SO,T,N,A}))] \\
 & - \sum_{C,S} [A_{C,S,P,A} * PA_{C,S,A}] \\
 & + \sum_{UZ,An} [(EFFPROD_{UZAn,A} * PV_{An,'LAIT',A} + V_{UZAn,p,A} * PV_{An,'VIAD',A}) * PRO_{An,M} \\
 & - EFF_{UZ,An,P,A} * COA_{An,P,A} - QCA_{An,P,A} * PVC_A] \\
 & + [(INISCEDE_{A-1} + SCEDE_A) * PLT_A * 0.95] \\
 & - [(INISLOU_{A-1} + SLOU_A) * PLT_A] \\
 & + \sum_{TSM,P} [(HTCED_{TSM,P,A} * PLM_{TSM,A}) * 0.95] \\
 & - \sum_{TSM,P} [HTLOU_{TSM,P,A} * PLM_{TSM,A}] \\
 & + \sum_P [(MOCED_{P,A} * SLR_{P,A}) * 0.95] \\
 & - \sum_P [MOLOU_{P,A} * SLR_{P,A}] \\
 & - [NMP * CUP_A + CF_A] \\
 & + [INTOTR_{P,A} - INTOT_{P,A}] \\
 & - \sum_{AC} [EMPLT_{A,AC} * (AM_{AC} + TIL_{AC}/2) * 1/3] \\
 & + [EMPCT_{P,A} - EMPCTD_{P,A} - EMPCTr_{P,A} - EMPCTDr_{P,A}] \\
 & + [REVEHP_{P,A}] \\
 & - [PRELEVHP_{P,A}] \\
 & + [TRESHP_{P,A}] \\
 & + [CASHP_{P,A}] \\
 & - [EPARG_{P,A}]
 \end{aligned}$$

Avec

$$\begin{aligned}
 CASHP_{P1,A} &= 0 \quad ; \quad CASHP_{P23,A} = CASHP_{23-1,A} \\
 TRESHP_{P23,A} &= 0 \quad ; \\
 TRESHP_{P1,A} &= TRESin_{P1,A} + SOMEPARG_{P3,A-1} + CASH_{P3,A-1} \\
 SOMEPARG_{P,A} &= EPARG_{P,A} + SOEPARG_{P,A} \\
 SOEPARG_{P1,A} &= 0 \quad ; \quad SOEPARG_{P23,A} = SOMEPARG_{P23-1,A} \\
 *CASH_{P,A} &: \text{cash flow ou trésorerie par période et par A} \\
 *CASHP_{P,A} &: \text{cash flow ou trésorerie de la période précédente} \\
 *TRESHP_{P,A} &: \text{cash flow ou trésorerie du début de l'année} \\
 *REVEHP_{P,A} &: \text{revenu extérieur par période et par A} \\
 *PRELEVHP_{P,A} &: \text{prélèvement familial par période et par A} \\
 *EMPCTr_{P,A} &: \text{emprunt court terme remboursé} \\
 *EMPCTDr_{P,A} &: \text{emprunt court terme spécial découvert remboursé} \\
 *EPARG_{P,A} &: \text{placement par période et par A} \\
 *TRESin_{P1,A} &: \text{trésorerie initiale}
 \end{aligned}$$

1.3.7 Equation d'érosion

L'équation de l'érosion peut être formulée selon plusieurs manières, en fonction des mécanismes de régulation possibles, parmi lesquelles on peut citer les trois équations suivantes :

- l'érosion comme une fonction objectif en soi ;
- l'érosion comme une contrainte ;
- l'érosion comme un comptage des tendances ;

1.3.7.1 L'érosion comme une fonction objectif

L'introduction de l'érosion dans la fonction objectif peut être très utile pour tester divers instruments d'intervention proposés par les approches théoriques en matière d'environnement. Deux façons seront ainsi exposées :

La première équation consiste à associer un coût à chaque unité de dégât qui sera déduit de la marge brute de chaque activité. Cette équation, qui répond au principe pollueur-payeur, peut se présenter comme l'imposition d'une taxe sur une utilisation non sans souci de l'environnement, permettrait le découragement de certaines productions. La limite principale de cette équation consiste en la détermination de la valeur optimale de ce coût unitaire.

$$\text{Max } U_{HP} = \sum_A \left[\left(\sum_{C,SO,T,PC} X_{C,SO,T,PC,A} * (MB_{C,SO,T,CP,A} - CUE * EROSI_{C,SO,T,A}) \right) - \phi * \sigma_A \right]$$

- $MB_{C,SO,PC,T,A}$: marge brute par culture ;
- CUE : coût unitaire de l'érosion.

La deuxième équation consiste à introduire dans la fonction objectif du modèle un double objectif auquel correspondent respectivement deux coefficients de pondération ($W1$, $W2$). Le premier objectif, d'ordre économique, consiste à maximiser le revenu. Le second objectif, d'ordre environnemental, consiste à minimiser les pertes du sol causées par l'érosion. L'inconvénient principal de cette approche réside dans le choix de coefficient de pondération à associer à chaque objectif et ceci malgré le développement, ces dernières années, de certaines méthodes sur ce sujet (méthodes NISE et Compromise set).

$$\text{Max } U_{HP} = \sum_A \left[W1 * [Z_A - \phi * \sigma_A] - W2 * ERO_A \right]$$

1.3.7.2 L'érosion comme une contrainte

Elle consiste à introduire dans le modèle une contrainte spécifique à l'érosion. S'inspirant de l'approche interventionniste, cette contrainte et en utilisant les informations générées par le modèle biophysique, permet de fixer a priori et par le biais de ces informations une quantité d'érosion maximale EM à ne pas dépasser (des normes d'objectifs ou de résultat). Cette quantité d'érosion maximale qui correspond à une norme d'érosion constitue une variable exogène.

$$\sum_{C,SO,T,PC} EROSI_{C,SO,T,A} * X_{C,PC,SO,T,A} = ERO_A$$

$$ERO_A \leq EM_A$$

- $EROSI_{C,SO,T,A}$: Erosion par culture, par technique et par an obtenu par EPICPHASE
- EM_A : Erosion maximale.

1.3.7.3 L'érosion comme un comptage des tendances

Elle consiste à introduire dans le modèle une équation de comptage de l'érosion générée par les divers systèmes de production afin de comparer entre les simulations.

$$\sum_{C,SO,T,PC} EROSI_{C,SO,T,A} * X_{C,PC,SO,T,A} = ERO_A$$

Pour notre travail et vue que l'instrument d'intervention choisi se base sur l'élaboration d'un cahier de charge (des normes de procédés techniques), nous avons retenu cette méthode dans le but de comparer entre les résultats des situations de référence et simulés. Cette équation est rendue possible grâce aux données dégagées par le modèle biophysique, et qui associent à chaque culture, type de sol et niveau de technique utilisée, les pertes de sol par année et par état de la nature selon la variabilité climatique.

1.4 Formulation des contraintes de récursivité

L'utilisation de la présente contrainte signifie que les résultats de la première année de l'horizon de planification seront considérés comme données de départ de la première année du nouvel horizon de planification. Pour notre modèle, sont ainsi considérés la S.A.U., la trésorerie et bien sûr les effectifs d'animaux.

I.4.1 La S.A.U.

La SAU de l'année correspond au total des hectares cultivés au cours de cette année.

$$\sum_{C,SO,T,PC} X_{C,PC,SO,T,A} = SAU_A$$

Sachant que les hectares repris en fermage et/ou cédés en location de l'année s'ajoutent aux hectares repris en fermage et/ou cédés en location des années antérieures pour permettre de calculer la charge totale de fermage et/ou le revenu foncier total :

$$INISLOU_A = SLOU_A + INISLOU_{A-1}$$

$$INISCEDE_A = SCEDE_A + INISCEDE_{A-1}$$

* $INISLOU_A$: hectares supplémentaires en fermage cumulés sur l'ensemble des années écoulées.

* $INISCEDE_A$: hectares supplémentaires cédés en location cumulés sur l'ensemble des années écoulées.

I.4.2 La trésorerie initiale

La trésorerie de la première année de l'horizon de planification correspond à la trésorerie réelle de la fin de la première année du précédent horizon majorée du montant de l'épargne annuelle et diminuée des annuités de remboursement des emprunts.

I.4.3 Les effectifs

Les effectifs de fin de la première année de l'horizon de planification seront repris comme effectifs de début de la première année de l'horizon suivant.

II. Le modèle agrégé : la région comme unité économique

Dans cette partie, notre objectif consiste à transmettre l'analyse d'un niveau individuel dont les fondations micro-économiques sont stabilisées essentiellement sur la théorie de l'offre produite par le modèle d'exploitation, à un niveau régional qui introduit une distinction spatiale entre les fonctions de la demande³⁹ et de l'offre et dans lequel les prix sont endogénisés par le biais du croisement de ces deux fonctions.

Le passage à un niveau régional est devenu indispensable afin d'intégrer toutes les ressources de l'offre et de la demande des producteurs et des consommateurs de la région et de définir la forme du marché dans lequel ces acteurs opèrent : compétitive, monopolistique, oligopolistique, monopsonistique, etc.

La représentation de ce niveau régional nécessite la construction d'un modèle agrégé qui intègre les caractéristiques et les comportements de plusieurs producteurs individuels ainsi que les objectifs sociaux partiels.

Cependant, avant de nous pencher sur les aspects spécifiques du modèle retenu, nous allons essayer d'avancer quelques réflexions sur les modèles agrégés ainsi que leur application en agriculture.

II.1 Les modèles agrégés en agriculture : spécificités et limites

Les modèles agrégés d'équilibre partiel portent généralement sur un produit, un secteur, un pays ou une région. Ces modèles se sont développés très vite aux USA pendant la grande crise et la mise en place des politiques agricoles et ensuite en U.K. au cours des années soixante dix dans les centres de recherche universitaires et cela pour évaluer l'impact de l'entrée de l'U.K. dans la Communauté Européenne. Le plus célèbre des modèles est celui de Newcastle qui se construit sur une batterie d'élasticité directe et croisée d'offre et de demande de produits, et d'offre et de demande de facteurs et d'intrants.

Les premiers modèles agrégés construits en agriculture étaient des modèles, sectoriels, d'équilibre partiel. Deux grandes catégories de modèles ont été ainsi décrites : les modèles de simulation économétriques à grande échelle et les modèles de programmation.

³⁹ Pour notre cas, la fonction de demande est supposée fixe et celle de l'offre est représentée par les quantités offertes.

Encadré 2.1 L'équilibre partiel et les modèles agrégés : aspects théoriques

Le modèle d'équilibre partiel concerne au moins un marché particulier d'un quelconque bien ou service. Afin de représenter, théoriquement, ce modèle nous avons considéré un seul marché, le marché d'un bien j quelconque. Le prix sur les autres marchés est fixé. Nous nous intéressons alors seulement à la façon dont l'offre de ce bien peut s'égaliser à la demande.

Soit la fonction de demande individuelle en bien j du consommateur i indiquée par $X_{ij}(P_j)$ et la fonction d'offre individuelle en bien j de la firme f indiquée par $Y_{fj}(P_j)$ (P_j représente le prix du bien j), on appelle **fonction de demande agrégée, ou fonction de demande globale**, la fonction de demande en bien j de tous les consommateurs, et on la note : $X_j(P_j) = \sum_{i=1} X_{ij}(P_j)$ **et fonction d'offre agrégée, ou fonction d'offre globale**, la fonction d'offre en bien j de toutes les firmes, et on la note : $Y_j(P_j) = \sum_{f=1} Y_{fj}(P_j)$.

L'intersection des deux courbes - d'offre et de demande - nous donne le résultat de la confrontation offre-demande dont l'égalité est assurée par le prix d'équilibre qui s'impose à tous. Cet équilibre est stable car des forces de rappel vont ramener le prix, qui s'établit, par tâtonnements, vers le prix d'équilibre.

II.1.1 Les modèles de simulation économétrique à grande échelle

Un modèle de simulation économétrique à grande échelle se compose d'une série d'équations traduisant les rapports d'une part, entre relations économiques et structures et d'autre part, entre différentes identités qui décrivent les liens entre les variables intrasectorielles et entre le secteur et les influences exogènes. Ces équations peuvent être résolues pour donner des valeurs aux variables endogènes, compte tenu des variables exogènes et des paramètres du système. La caractéristique principale d'un modèle de simulation économétrique est que ses paramètres sont obtenus à l'aide d'une estimation économétrique. Leur fiabilité peut donc être contrôlée à l'aide de tests statistiques, bien que la validité d'un grand nombre de ces tests suppose que la spécification structurelle et statistique du modèle est correcte. Théoriquement, ce type de modèle est positif en ce sens qu'il ne contient pas d'hypothèse particulière sur la façon dont les décideurs arrivent à leur décision. En d'autres termes, un modèle économétrique cherche tout simplement à résumer les rapports statistiques que l'on peut observer dans les données.

Toutefois, ces types de modèle sont soumis à diverses restrictions techniques à savoir : les besoins en données pour l'estimation économétrique d'un modèle sectoriel sont considérables, l'estimation économétrique est limitée aux mécanismes et aux réponses de comportement qu'impliquent les politiques existantes, la nature purement positive de ces modèles peut être plus apparente que réelle,... La présence de ces limites peut rendre difficile voire même impossible la simulation ex ante de politiques impliquant de nouvelles variables et de nouveaux types de mesures politiques pour lesquels on ne dispose d'aucune observation historique.

II.1.2 Les modèles de programmation

Les modèles de programmation découlent de l'approche normative adoptée dans les modèles d'optimisation d'une fonction objectif sous différentes contraintes (Norton, Schiefer 1980 ; Hanf 1989). Ces modèles se concentrent généralement sur la minimisation des coûts de production (maximisation du profit) sous des contraintes technologiques, des prix d'input donnés et des niveaux exogènes de demandes d'output. Ces modèles, peuvent contenir un très grand nombre d'informations concernant la différenciation technologique, structurelle et régionale dans le secteur ainsi que certaines formes de risque éprouvées par les décideurs dans le secteur.

Le premier modèle de programmation construit pour le secteur agricole a été proposé par Samuelson en 1952 et inspiré de la conception de l'équilibre néoclassique issu du schéma Walrasien. Ce modèle qui maximise le surplus

commun des producteurs et des consommateurs tente d'estimer la réaction de l'offre totale de produits en fonction d'une estimation endogène de prix calculée à partir de l'élasticité et de l'élasticité croisée de la demande agrégée. Une telle estimation qui fait appel aux cinq caractéristiques suivantes (Hazell et Norton, 1986) : une description des comportements économiques des producteurs, une description des fonctions de production de chaque producteur, une définition des dotations en ressources pour chaque groupe de producteur (ces dotations concernent essentiellement la terre, le capital manufacturé et la main d'œuvre), une spécification du marché dans lequel le producteur intervient qui inclura la forme du marché ainsi que les fonctions de demande du consommateur et enfin une spécification de la politique agricole régionale. Les limites de ce modèle se résument par le fait qu'il soit d'une part assez rigide (les activités et les contraintes étaient définies de manière agrégée) puisqu'il fallait introduire des variables pour en accroître la flexibilité et cibler les résultats et d'autre part, peu fiable étant donné que les technologies de production sont souvent supposées des technologies Leontief à rendement constant qui se caractérisent par une matrice de coefficients à input fixes.

Un deuxième type de modèle de programmation a été développé par McClarc en 1982. Il propose l'utilisation de l'algorithme de décomposition de Dantzig et Wolfe (1960) pour la formulation des activités du modèle. Celles-ci sont la résultante de l'agrégation de l'estimation des fonctions de réponse individuelle face à une panoplie d'interventions. L'inconvénient de cette approche est que ces fonctions de réponse sont déterminées au niveau individuel sans tenir compte des relations entre les divers systèmes productifs et/ou les acteurs.

Le troisième type de modèle de programmation, développé par Buckwell et Hazell (1972), est fondé sur la combinaison de plusieurs modèles individuels, d'exploitations représentatives, dans un cadre unique agrégé où les liaisons représentant les transferts entre les exploitants sont définies de manière explicite. La fonction objectif du modèle agrégé est alors une agrégation des fonctions objectifs individuelles.

Ce type de modèle présente également des limites, d'une part, l'agrégation à partir d'exploitations représentatives jusqu'au niveau régional ou sectoriel, cause inévitablement des erreurs même si on pondère par le poids de chaque groupe (Hazell, Norton 1986) et d'autre part, l'harmonisation de la gamme et du choix d'activités alternatives dans le modèle avec celles observées dans la réalité peuvent poser des problèmes (les activités disponibles peuvent être limitées de façon non réaliste car seule une sous-série d'activités potentielles est réellement exercée par

les agriculteurs au cours de l'année de base dont les données sont utilisées pour étalonner le modèle). En outre, le fait que le nombre d'activités ne doit pas dépasser le nombre de contraintes obligatoires peut imposer la nécessité de, soit réduire le nombre d'activités disponibles dans la matrice technologique ce qui est incompatible avec les données de l'année de base, soit inclure des contraintes supplémentaires qui sont fausses (Taylor, Howitt 1993).

Ce type de modèle malgré qu'il soit, d'une part, contraint par l'ensemble de ces limites et d'autre part basé sur des matrices de grande taille, il nous semble le plus approprié pour notre travail et ceci en raison des spécificités suivantes : le respect des objectifs et des contraintes partiels individuels, la prise en compte du risque climatique et de l'incertitude des marchés aussi bien au niveau individuel que global, la commodité de la quantification des effets et des conséquences internes d'une telle intervention politique individuellement et collectivement, etc.

II.2 Structure économique du modèle agrégé retenu

II.2.1 Type de modèle agrégé retenu et l'issue d'agrégation

Comme, nous venons de le signaler, pour concevoir et élaborer un modèle agrégé agricole, la première décision à prendre concerne donc le choix d'une approche de modélisation de base. Beaucoup de choses ont été écrites à propos des forces et des faiblesses relatives des modèles sectoriels de simulation à grande échelle par rapport aux modèles de programmation. La discussion de ces deux approches a été quelque peu devancée par la mise au point de modèles élaborés sous la forme de systèmes modulaires dans lesquels il est possible de choisir la méthode la plus appropriée pour chaque module selon les contraintes en données et les objectifs du modèle.

Pour notre travail, le choix a été fait sur le modèle de programmation proposé par Buckwell et Hazell en 1972, qui consiste à construire un modèle agrégé régional à partir des modèles individuels d'exploitations représentatives.

L'agrégation est définie par Buckwell comme la combinaison de plusieurs modèles individuels d'exploitations dans un cadre unique agrégé dans lequel les liaisons représentant les transferts entre les exploitations sont définies de manière explicite.

Toutefois, le passage du niveau individuel au niveau global, pose plusieurs problèmes d'agrégation étant donné que toutes les exploitations ne sont pas identiques. La manière idéale pour agréger consiste d'abord à construire pour

chaque exploitation individuelle un modèle et ensuite a relier l'ensemble de ces modèles pour former un modèle agrégé, régional ou national, d'équilibre partiel ou général.

Théoriquement, un modèle idéal d'agrégation se présente comme suit :

Soit le vecteur X_i^* représentant la solution optimale du $i^{\text{ème}}$ modèle d'exploitation, la solution optimale du modèle agrégé, régional ou sectoriel, sera la suivante :

$$X_1^* = \sum X_i^*$$

Toutefois, étant donné qu'il est pratiquement impossible de modéliser chaque exploitation individuellement, le modèle agrégé devrait donc être basé sur une typologie des exploitations et par conséquent sur les exploitations représentatives de chaque groupe. Cette approche consiste en une classification des exploitations en un ensemble de groupes homogènes et pour chaque exploitation représentative de ces groupes on construit un modèle individuel. Les modèles d'exploitations seront ensuite agrégés pour construire le modèle régional ou sectoriel en utilisant le nombre des exploitations de chaque groupe comme coefficient de pondération. Une agrégation qui introduit la possibilité des transferts entre les groupes d'exploitations, mais d'une manière limitée et selon les caractéristiques régionales.

Mathématiquement, un modèle agrégé obtenu en utilisant la méthode des exploitations représentatives, peut être formulé comme suit :

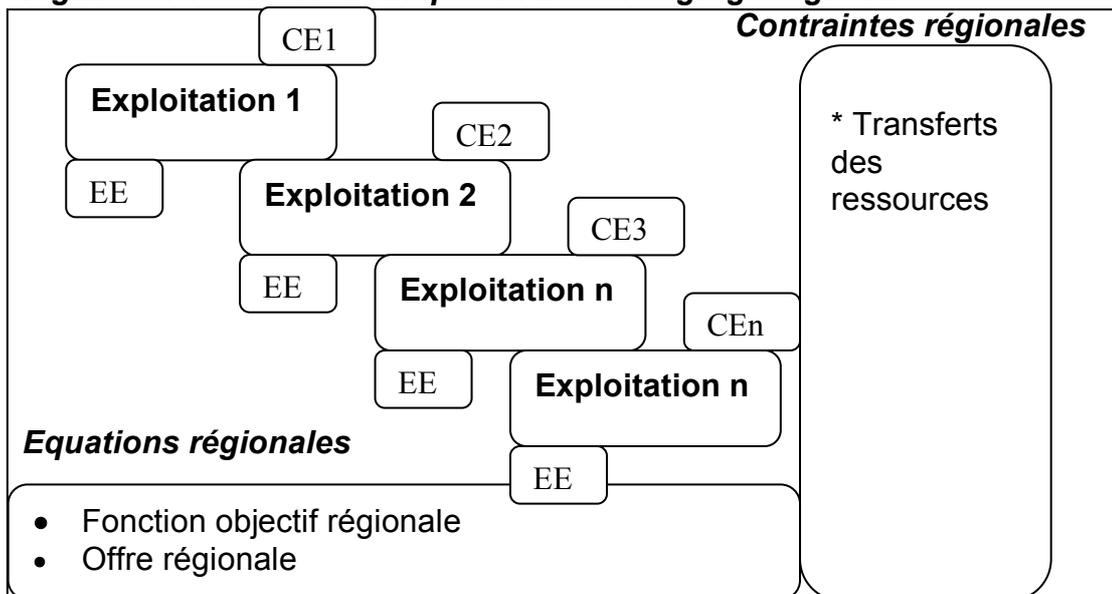
Soit le vecteur X_h^* représentant la solution optimale du $h^{\text{ème}}$ modèle d'exploitation représentatif et soit n_h le nombre des exploitations du groupe, la solution du modèle agrégé sera la suivante :

$$X_2^* = \sum n_h X_h^*$$

Utiliser le nombre d'exploitations dans chaque groupe comme poids est la meilleure procédure si les exploitations représentatives sont définies comme la moyenne arithmétique pour leurs groupes.

Toutefois, cette agrégation n'est valide que si les exploitations sont classifiées au sein des groupes selon les besoins de la théorie de l'homogénéité. Cette théorie avancée par Day en 1963 exige trois conditions pour assurer l'homogénéité des groupes à savoir : l'homogénéité technologique (même type de ressources et contraintes, même niveau technologique, même capacité de gestion...), la proportionnalité pécuniaire (des revenus similaires) et la proportionnalité institutionnelle (le vecteur de contrainte de chaque exploitation doit être proportionnel au vecteur de contrainte de l'exploitation agrégée ou moyenne).

Fig.2.3 Structure économique du modèle agrégé régional



Source : *Elaboration personnelle à partir de Hazell et Norton.*

* EE: Equations de l'Exploitation

*CE : Contraintes de l'Exploitation

II.2.2 Conception du modèle agrégé retenu

En plus des questions relatives aux approches et techniques de modélisation de base, il existe une autre série de questions de conception qui ont un rapport direct avec le type d'objectif qu'on cherche à atteindre et avec la façon dont les résultats devraient être interprétés. Ces questions concernent la manière dont les rapports et les interactions entre les agents économiques et les processus économiques sont spécifiés dans le modèle, le choix des variables à endogéniser (c'est-à-dire des variables dont les valeurs peuvent être générées dans le cadre du modèle), le degré de désagrégation des produits (inputs et outputs), des facteurs, des régions, des types et des dimensions d'exploitations, le traitement du temps (statique, dynamique).

Ces caractéristiques font partie de la spécification des relations économiques et de la structure du modèle. Pour notre travail, le modèle agrégé retenu est un modèle très simple de maximisation de l'utilité espérée globale sous contraintes, selon les principes néoclassiques, auquel nous avons ajouté autres composantes, en particulier les contraintes individuelles d'exploitations et les contraintes de transferts entre les exploitations.

L'originalité de ce modèle consiste en la prise en compte, à la fois des objectifs et contraintes particuliers (maximisation de revenu, minimisation des pertes du sol, attitude face au risque, etc.) des contraintes et des objectifs agrégés. Avec un tel modèle, il est possible d'évaluer l'impact à court et/ou long terme de politiques

agricoles sur la production, les revenus, les prix, et l'environnement naturel aussi bien au niveau de l'exploitation qu'au niveau agrégé.

L'introduction de la fonction de demande dans le modèle ne force pas une reconsidération de la fonction objectif mais permet d'obtenir un résultat d'équilibre compétitif et ceci en réinitialisant les prix chaque année. Cette fonction est introduite dans le modèle comme une variable fixe puisqu'on est en présence d'un modèle d'équilibre partiel où seuls les prix sont endogénisés (la position de la fonction de demande ne change pas puisque les revenus ne sont pas endogénisés).

En outre, étant donné que nous développons un modèle multipériodique et récursif, notre fonction objectif sera dynamique et par conséquent l'équilibre partiel sera d'apparence Cobweb «toile d'araignée»⁴⁰ sans l'être réellement. En effet, la

⁴⁰ La formulation théorique d'un modèle de Cobweb qui est supposée d'une part, affine et d'autre part croissante par rapport au prix peut être représentée comme suit (Arahamian F., et al 1999) :

$$\begin{aligned} \text{Minimiser : } U &= X_i^t - Y_i^t \\ \text{Avec :} \\ Y_i^t &= a_i P_i^{t-1} + b_i, a_i > 0 \text{ et } b_i > 0 \\ X_i^t &= -\alpha_i P_i^t + \beta_i, \alpha_i > 0 \text{ et } \beta_i > 0 \end{aligned}$$

Y_i^t représente l'offre courante (de la période présente t) qui est proposée au prix, P_i^{t-1} de la période précédente (t-1). En effet, on fait l'hypothèse que les décisions des agriculteurs prises en t-1, à partir du prix observé P_i^{t-1} à cette période, se concrétisent par une quantité offerte à la période suivante. La production nécessite en effet un certain temps.

X_i^t , représente la demande globale de ce bien. Cette fonction qui est également supposée affine, dépend du prix de la période courante P_i^t .

La condition d'équilibre sur le marché obtenue par l'équation d'évolution du prix (équation récurrente linéaire d'ordre un avec un second membre constant) constitue la condition optimale de notre fonction objectif U.

$$U = 0 \Rightarrow X_i^t = Y_i^t \Leftrightarrow -\alpha_i P_i^t + \beta_i = a_i P_i^{t-1} + b_i \Rightarrow P_i^t = (-a_i / \alpha_i) P_i^{t-1} + (\beta_i - b_i) / \alpha_i$$

La solution particulière à cette équation peut être prise sous la forme :

$$P_i^t = P_i^{t-1} = \text{constant } (P_i^*); \quad a_i P_i^* + b_i = -\alpha_i P_i^* + \beta_i \Rightarrow P_i^* = (\beta_i - b_i) / (\alpha_i + a_i)$$

La solution de l'équation homogène associée, qui suit une progression géométrique de raison $(-a_i / \alpha_i)$, est $(-a_i / \alpha_i)^t K$. La solution générale de l'équation de récurrence est donc :

$$P_i^t - P_i^* = (-a_i / \alpha_i)^t (P_i^0 - P_i^*)$$

L'équation est **stable**, si $|-a_i / \alpha_i| < 1$, les écarts de prix $P_i^t - P_i^*$ tendent vers 0. Situation cyclique et convergente (oscillations amorties).

L'équation est **instable**, si $|-a_i / \alpha_i| \geq 1$, car la suite $(-a_i / \alpha_i)^t$ est strictement croissante ou constante. Situation explosive et divergente (oscillations amplifiées).

Dans le cas d'équilibre dynamique avec adaptation retardée des producteurs, le modèle de la « toile d'araignée » fait donc apparaître que l'équilibre du marché n'est stable que si la pente de la courbe d'offre est inférieure à la valeur absolue de la pente de la courbe de demande (Gilbert A. F., 1992).

spécification du modèle de Cobweb permet d'assurer le cheminement du marché vers une position d'équilibre et de stabilité dynamique, même si le temps pendant lequel se déroule le processus est fictif. Cette spécification est différente de celle de notre modèle dynamique récursif qui ne cherche pas à atteindre l'équilibre mais plutôt à estimer certaines variables endogènes qui se modifient pendant la période en question tout en gardant fixes les valeurs des variables exogènes.

La spécificité de notre modèle se résume en mieux représenter le mode d'adaptation partielle à court terme des producteurs et à estimer les résultats propres à des périodes spécifiques qui indiquent à la fois l'importance des variations de l'adaptation et la vitesse à laquelle elles interviennent dans le temps.

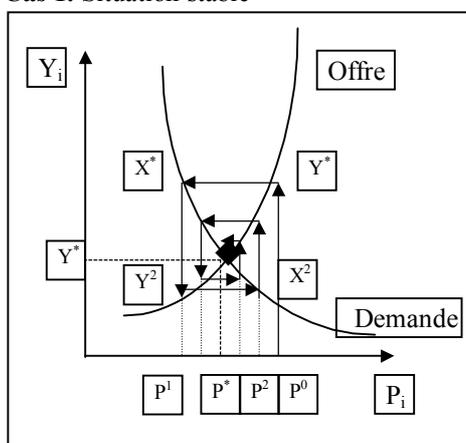
L'utilisation de ce type de modèle permet de déterminer le prix réel des produits (en confrontant le volume de la production à la demande) étant donné que les agriculteurs n'ont aucun pouvoir sur les prix (les agriculteurs sont des preneurs de prix) et vu l'absence d'un secrétaire de marché (commissaire-priseur) qui annonce les prix.

II.3 Les équations du modèle agrégé et l'équilibre de marché

II.3.1 La fonction objectif agrégée et la fonction de demande

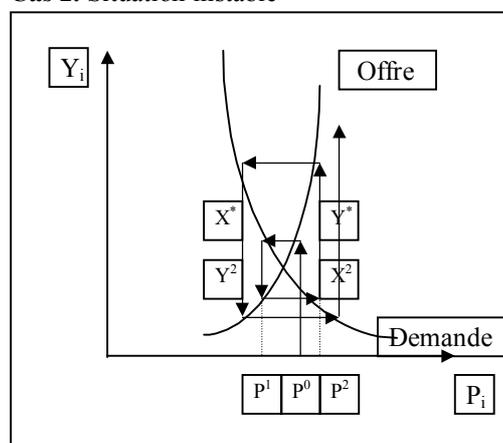
La fonction objectif du modèle agrégé retenue consiste à optimiser l'utilité privé régionale (utilité espérée globale) obtenue par agrégation de l'utilité espérée provenant de chaque type de producteurs tout en garantissant le respect des normes en vigueur pour l'analyse de ces derniers c'est-à-dire en gardant les contraintes individuelles.

Cas 1. Situation stable



Source : Aprahamian F., 1999.

Cas 2. Situation instable



L'originalité et la simplicité de cette fonction consiste à ne pas maximiser le surplus du producteur et du consommateur (fonction objectif de Samuelson) mais plutôt à maximiser la somme pondérée des utilités des producteurs en utilisant des prix anticipés. Ces prix sont réinitialisés par une confrontation de la quantité offerte à la fonction de demande globale supposée fixe (les revenus ne sont pas endogénisés dans le modèle).

Théoriquement et pour un produit quelconque i , cette fonction objectif peut être représentée comme suit :

$$\text{Maximiser } U_{i,G} = \sum_{h=1}^H \left(\sum_{t=1}^T \frac{P_i^{t-1} Y_{i,h}^t - C(Y_{i,h}^t)}{(1+\tau)^{t-1}} - \phi_h \sigma_{i,h}^t \right) * N_h$$

$$\text{Avec : } P_i^t = \alpha_i Y_{i,G}^t + \beta_i \quad ; \quad \alpha_i < 0 \text{ et } \beta_i > 0$$

$$U_{i,h} = \sum_{t=1}^T \frac{P_i^{t-1} Y_{i,h}^t - C(Y_{i,h}^t)}{(1+\tau)^{t-1}} - \phi_h \sigma_{i,h}^t$$

$$Y_{i,G}^t = \sum_{h=1}^H Y_{i,h}^t * N_h$$

N_h : nombre des exploitations du $h^{\text{ème}}$ groupe⁴¹;

$Y_{i,h}^t$: production du $h^{\text{ème}}$ groupe d'exploitation en produit i ;

$Y_{i,G}^t$: production globale du produit i ;

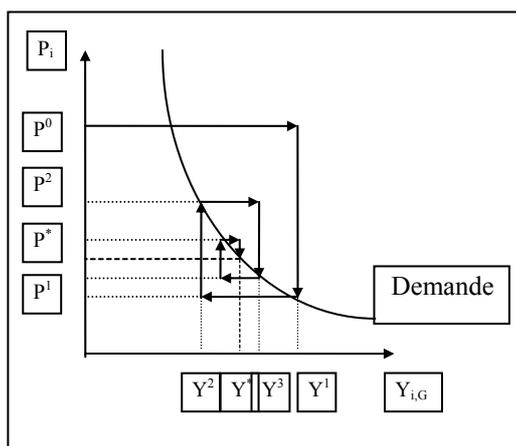
$U_{i,h}$: utilité espérée du $h^{\text{ème}}$ groupe d'exploitation en produit i ;

$U_{i,G}$: utilité espérée globale du produit i .

L'hypothèse avancée spécifie que les décisions des agriculteurs prises en $t-1$, à partir du prix observé P_i^{t-1} à cette période, se concrétisent par une quantité offerte ($Y_{i,G}^t$) à la période suivante t . La maximisation de l'utilité de la période t se fait, donc, par le biais du prix observé dans la période $t-1$, par contre la trésorerie finale de la période t (trésorerie réelle) est obtenue par le prix observé de la période t .

Le prix (P_i^{t-1}) est exogène pour l'année de départ, mais il est endogénisé (réinitialisé) pour le reste des années par un croisement du volume de la production et de la demande ($P_i^t = \alpha_i Y_{i,G}^t + \beta_i$ avec $\alpha_i < 0$ et $\beta_i > 0$). A l'équilibre P_i^t converge vers le prix d'équilibre P_i^* .

⁴¹ Dans notre cas, on compte 9 groupes d'exploitations : 7 dans le secteur privé et 2 dans le secteur public.



Source : *Elaboration personnelle*

Dans le cas de multiples produits le modèle s'écrit de la manière suivante :

$$\text{Maximiser } U_G = \sum_{h=1}^H \left(\sum_i \sum_{t=1}^T \frac{P_i^{t-1} Y_{i,h}^t - C(Y_{i,h}^t)}{(1+\tau)^{t-1}} - \phi_h \sigma_{i,h}^t \right) * N_h$$

$$\text{Avec : } P_i^t = \alpha_i Y_{i,G}^t + \beta_i \quad \text{avec } \alpha_i < 0 \text{ et } \beta_i > 0$$

$$W^t = \sum_i (\beta_i + 0.5 \alpha_i Y_{i,G}^t) Y_{i,G}^t - \sum_i C(Y_{i,G}^t)$$

$$U_h = \sum_i \sum_{t=1}^T \frac{P_i^{t-1} Y_{i,h}^t - C(Y_{i,h}^t)}{(1+\tau)^{t-1}} - \phi_h \sigma_{i,h}^t$$

W^t : surplus des producteurs plus surplus des consommateurs

La fonction objectif agrégée de notre modèle sera par conséquent :

$$\text{Max : } U_{HP,G} = \sum_{h=1}^H U_{HP,h} * N_h$$

$$\text{Avec : } PVO_{C,S,A} = BETA_{C,S} + ALPHA_{C,S} * PROD_{C,S,A}$$

$$PAO_{UZ,M,A} = BETA_{UZ,M} + ALPHA_{UZ,M} * PROD_{UZ,M,A}$$

$$PV_{C,S,A} = PVO_{C,S,A-1}$$

$$PA_{UZ,M,A} = PAO_{UZ,M,A-1}$$

$$BETA_{C,S} > 0 ; BETA_{UZ,M} > 0 ; ALPHA_{C,S} < 0 ; ALPHA_{UZ,M} < 0$$

:

$$U_{HP,h} = \sum_A [Z_{h,A} - \phi_h \cdot \sigma_{h,A}]$$

$$N_h = (POID_h * NBRTE)$$

- $PROD_{C,S,A} = \sum_{h=1}^H \left(\sum_P V_{C,S,P,A} \right)_h * (POID_h * NBRTE)$

- $PROD_{UZ,LAIT,A} = \sum_{h=1}^H \left(\sum_{An} EFFPROD_{UZ,An,A} * PRO_{An,LAIT} - AUTOC_{LAIT} \right)_h * (POID_h * NBRTE)$

$$\bullet \text{ PROD}_{UZ,VIAD,A} = \sum_{h=1}^H \left(\sum_{An,P} V_{UZ,An,p,A} * \text{PRO}_{An,M} \right)_h * (\text{POID}_h * \text{NBRTE})$$

- $\text{ALPHA}_{C,S} = \text{PRIREFV}_{C,S} / (\text{ELAST}_{C,S} * \text{CONSREFV}_{C,S})$
- $\text{BETA}_{C,S} = \text{PRIREFV}_{C,S} - (\text{ALPHA}_{C,S} * \text{CONSREFV}_{C,S})$
- $\text{ALPHA}_{UZ,M} = \text{PRIREFV}_{UZ,M} / (\text{ELAST}_{UZ,M} * \text{CONSREFA}_{UZ,M})$
- $\text{BETA}_{UZ,M} = \text{PRIREFV}_{UZ,M} - (\text{ALPHA}_{UZ,M} * \text{CONSREFA}_{UZ,M})$

$$W_A = \sum_{C,S} (\text{BETA}_{C,S} + 0.5 * \text{ALPHA}_{C,S} * \text{PROD}_{C,S,A}) * \text{PROD}_{C,S,A}$$

$$+ \sum_{UZ,M} (\text{BETA}_{UZ,M} + 0.5 * \text{ALPHA}_{UZ,M} * \text{PROD}_{UZ,M,A}) * \text{PROD}_{UZ,M,A}$$

$$- \sum C(\text{PROD})$$

Avec :

$$\bullet \sum C(\text{PROD}) = \sum_{h=1}^H \left[\sum_{C,S,SO,T,PC,P} [X_{C,PC,SO,T,A} * (E(\text{CDV}_{C,S,SO,T,N,A}))] \right]$$

$$+ \sum_{TSM,P} [\text{HTLOU}_{TSM,P,A} * \text{PLM}_{TSM,A}]$$

$$+ \sum_P [\text{MOLOU}_{P,A} * \text{SLR}_{P,A}] + \sum_{C,S,P} [A_{C,S,P,A} * \text{PA}_{C,S,A}]$$

$$+ \sum_{UZ,An,P} [\text{EFF}_{UZ,An,P,A} * \text{COA}_{An,P,A} - \text{QCA}_{An,P,A} * \text{PVC}_A]_h * (\text{POIDP}_h * \text{NBRTEP} + \text{POIDD}_h * \text{NBRTED})$$

- $U_{HP,G}$: utilité espérée globale par horizon de planification.
- $U_{HP,h}$: utilité espérée par horizon de planification et par groupe d'exploitation.
- POID_h : poids relatif de chaque groupe d'exploitation.
- NBRTE : nombre total des exploitations dans la région.
- $\text{EFFPROD}_{h,UZ,An,A}$: effectif des unités zootechniques productrices.
- $\text{PRO}_{An,M}$: production par animal de viande et de lait.
- $\text{PV}_{C,S,A}$: prix de vente anticipés des produits végétaux pour l'année A.
- $\text{PA}_{UZ,M,A}$: prix de vente anticipés des produits animaux pour l'année A.
- $\text{PVO}_{C,S,A}$: prix de vente observés des produits végétaux pour l'année A.
- $\text{PAO}_{UZ,M,A}$: prix de vente observés des produits animaux pour l'année A.
- $\text{PROD}_{C,S,A}$: production commercialisée des produits végétaux par an.
- $\text{PROD}_{UZ,M,A}$: production commercialisée des produits animaux par an.
- $\text{AUTOC}_{h,LAIT}$: autoconsommation du

lait par exploitation.

- $CONSREFV_{C,S}$: consommation totale de référence des produits végétaux.
- $PRIREFV_{C,S}$: prix de références des produits végétaux.
- $CONSREFA_{UZ,M}$: consommation totale de référence des produits

animaux.

- $PRIREFA_{UZ,M}$: prix de références des produits animaux.
- W_A = surplus des producteurs plus surplus des consommateurs par an.
- $C(PROD)$: charges directes liées à la production animale et végétale.

II.3.2 Les contraintes de transfert entre les exploitations

Les formes de transferts qui peuvent exister entre les exploitations agricoles concernent essentiellement les trois facteurs de production à savoir la terre, le travail et le capital manufacturé ou les biens d'équipements.

La mobilité de ces facteurs entre les exploitations permet de minimiser ou annuler le biais de l'agrégation qui surévalue le profit en raison d'une surestimation de cette mobilité. Les résultats du modèle agrégé ne peuvent donc pas être identifiés à l'agrégation des résultats des modèles individuels (Hazell et Norton, 1986).

II.3.2.1 Transfert de la terre et des biens d'équipements

La forme de transfert de terre que nous avons définie est en relation directe avec la capacité de travail des biens d'équipements et ne concerne que les moyennes et les grandes exploitations en sec ainsi que les exploitations du secteur domanial⁴². Cette restriction est justifiée, d'une part, par la forte intégration entre propriétaires des terres et propriétaires de biens d'équipements au sein de ces groupes et d'autre part, par le manque des moyens financiers pour mettre en culture d'autres terres et le rapport assez fort en disponibilités de travail - capital pour une utilisation poussée des techniques mécanisées qui caractérise le reste des groupes.

Cependant, lorsqu'on prend en compte la différenciation entre les exploitations en raison des différenciations de production, de technologies et de rendements, une attention particulière doit être apportée à la différenciation des technologies de production. En effet, la faible utilisation des techniques mécanisées par les petites exploitations ne s'explique pas par les difficultés d'accès à la mécanisation, mais plutôt par les rapports en disponibilité de travail - capital et les rapports de prix. Une petite exploitation familiale a davantage de travail familial par hectare qu'une grande

⁴² Les exploitants du secteur public (EPU et SMVDA) non pas le droit de cédés des terres et donc ils sont concernés que par la location des terres.

et le travail familial est en général moins cher que le travail salarié, d'où il est rationnel que l'exploitation familiale utilise davantage de techniques intensives en travail. Il convient cependant de laisser à ces exploitations la possibilité de recourir aux techniques mécanisées en cas de changement des prix relatifs des facteurs.

L'équation de transfert est définie donc par le fait que les exploitants qui ont des biens d'équipements ne possèdent pas généralement assez de terre et que les exploitants qui ont de la terre ne possèdent pas assez de biens d'équipements.

La somme pondérée par an des terres repris en fermage doit être égale alors à la somme pondérée des terres cédées et la somme pondérée par an des heures de tractions mécanisées louées doit être égale à la somme pondérée par an des heures de tractions mécanisées cédées.

$$\sum_{EX} SLOU_{EX,A} * N_{EX} = \sum_{EX} SCEDE_{EX,A} * N_{EX}$$

$$\sum_{EX,TSM,P} HTLOU_{EX,TSM,P,A} * N_{EX} = \sum_{EX,TSM,P} HTCED_{EX,TSM,P,A} * N_{EX}$$

Sachant que la superficie totale louée ne peut pas excéder la capacité totale de travail des biens d'équipements et que la capacité totale de travail des biens d'équipements mise en œuvre ne peut pas être supérieure à la capacité nécessaire pour mettre en valeur la superficie totale louée.

$$\sum_{EX} SLOU_{EX,A} * BTC_{EX,A} = \sum_{EX} HDT_{EX,A}$$

Pour bien représenter ce transfert et identifier le donneur et le receveur du facteur de production terre, il serait préférable de remplacer ces deux variables ($SLOU_{EX,A}$, $SCEDE_{EX,A}$) par une autre jugée plus explicite qui est $TERRE_{EX,EXT,A}$ sachant que (ext), alias (ex), est le donneur et (ex) le receveur. Cette même logique est étendue pour les deux autres facteurs de production à savoir la main d'œuvre et les biens d'équipements $MO_{EX,EXT,P,A}$ et $HBEQ_{EX,EXT,TSM,P,A}$. Toutefois et pour des raisons de complexité de notre modèle, nous avons choisi d'abandonner cette option.

$$\sum_{EX,EXT} TERRE_{EX,EXT,A} * N_{EX} = \sum_{EX,EXT} TERRE_{EXT,EX,A} * N_{EX}$$

$$\sum_{EX,EXT,TSM,P} HBEQ_{EX,EXT,TSM,P,A} * N_{EX} = \sum_{EX,EXT,TSM,P} HBEQ_{EX,EXT,TSM,P,A} * N_{EX}$$

II.3.2.2 Transfert de la main d'œuvre

Le marché local ou régional de la main d'œuvre peut prendre plusieurs formes : 1)

Offre très élastique, due à l'arrivée de la main d'œuvre extérieure dans la région pendant les saisons ; 2) Offre plus inélastique lorsqu'elle est limitée à la main d'œuvre locale ; 3) Offre encore plus inélastique en cas de migration de main d'œuvre vers des régions plus attractives du point de vue de l'offre du salaire et des conditions de vie.

Le cas de la région de Zaghouan, objet d'étude, est représentatif d'une situation d'offre de main d'œuvre salariée inélastique (Gana A. et al, 1991). Toutefois, la contrainte de la main d'œuvre ne sera pas active puisque l'offre régionale est pratiquement illimitée. C'est le coût de la main d'œuvre qui limitera son utilisation et non les quantités disponibles.

Mais contrairement aux transferts de la terre et du capital, la mobilité du facteur travail n'est pas restreinte à des groupes bien spécifiques mais concerne plutôt l'ensemble des exploitations y compris les petits exploitants ainsi que les exploitants du secteur public.

$$\begin{aligned} \sum_{EX} MOLOU_{EX,P,A} * N_{EX} &\geq \sum_{EX} MOCED_{EX,P,A} * N_{EX} \Leftrightarrow \\ \sum_{EX,EXT,P} MO_{EX,EXT,P,A} * N_{EX} &\geq \sum_{EX,EXT,P} MO_{EXT,EX,P,A} * N_{EX} \\ \sum_{EX} MOLOU_{EX,P,A} &\leq MOTM_{P,A} \Leftrightarrow \sum_{EX,EXT,P} MO_{EX,EXT,P,A} \leq MOTM_{P,A} \\ \sum_{EX} HDM_{EX,P,A} &\leq MOTM_{P,A} \end{aligned}$$

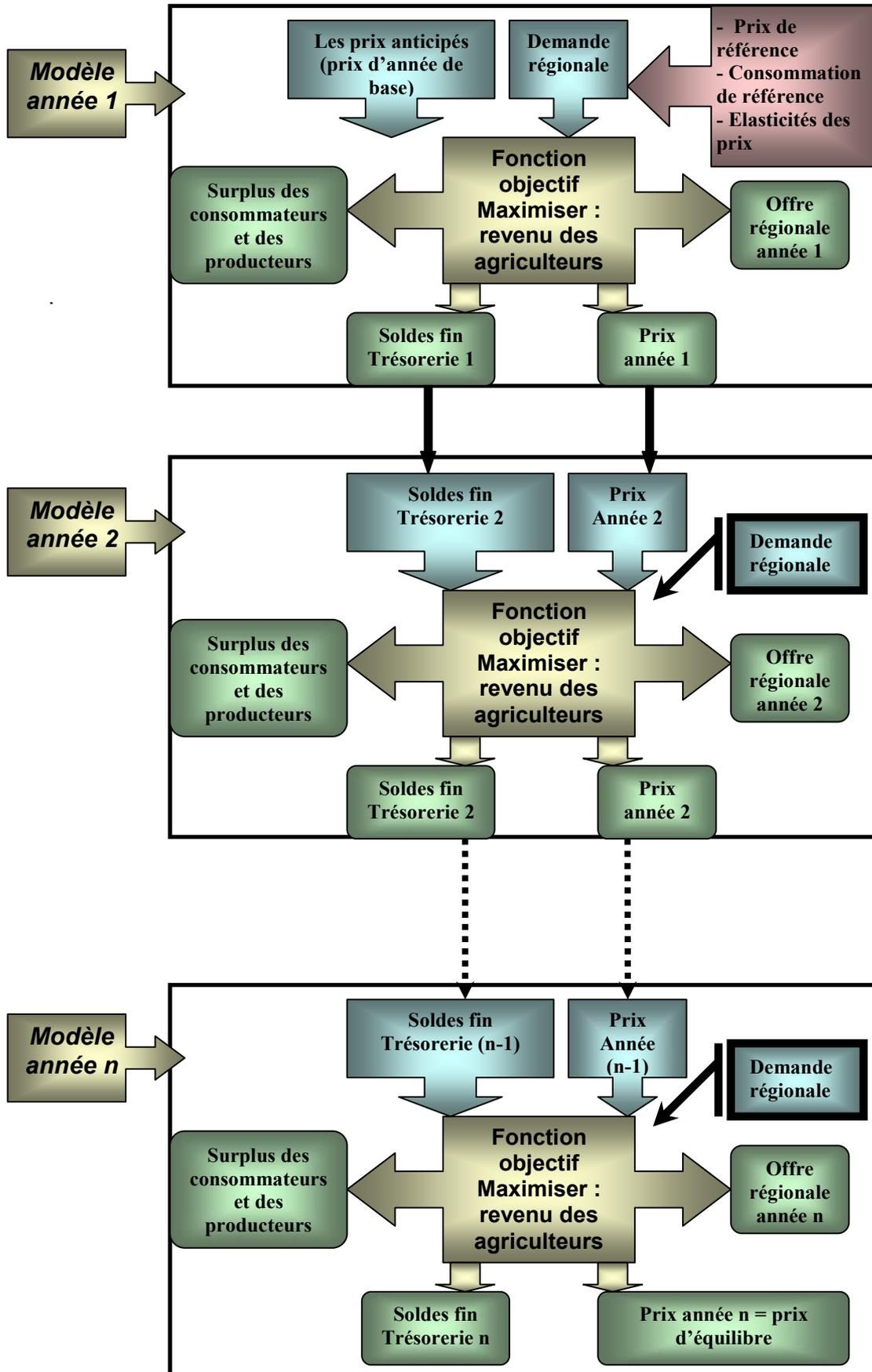
* $MOTM_{P,A}$: offre sur le marché de travail

* $HDM_{EX,P,A}$: nombre de main-d'œuvre disponible par groupe d'exploitation par période et par an.

* $MOLOU_{EX,P,A}$: nombre de main-d'œuvre louée par groupe d'exploitation par période et par an qui est synonyme à $MO_{EX,EXT,P,A}$.

* $MO_{EXT,EX,P,A}$: nombre de main-d'œuvre cédée par groupe d'exploitation par période et par an qui est synonyme à $MOCED_{EX,P,A}$.

FIG 2.4 Structure du modèle dynamique récursif retenu



Conclusion

Les modèles bio-économiques construits dans ce chapitre aussi bien individuels qu'agrégé constituent des outils très utiles pour tenir compte du caractère très complexe de certaines relations entre la production agricole et ses impacts environnementaux et pour évaluer l'impact de certaines politiques économiques et en particulier agricoles sur les différents producteurs et consommateurs de la région ainsi que sur l'environnement naturel. Une fois validés, ces modèles permettront de reproduire le comportement des producteurs, d'évaluer l'effet à long terme des activités agricoles sur les fonctions d'externalités agricoles à savoir celles de l'érosion et de tester et proposer des alternatives et des politiques agricoles efficaces pour promouvoir un "trades-off" entre la rentabilité économique et l'efficacité environnementale.

Dans les modèles individuels construits, l'optimisation se réalise sous divers objectifs partiels déterminés par les intérêts personnels des individus et par le contexte économique et social. Quant au modèle agrégé régional de type multipériodique récursif, la fonction objectif retenue se base sur l'optimisation de l'utilité régionale (utilité espérée globale) obtenue par agrégation de l'utilité espérée provenant de chaque type de producteurs tout en garantissant le respect des normes en vigueur pour l'analyse de ces derniers c'est-à-dire en gardant les contraintes individuelles. La maximisation de cette fonction se fait par le biais du prix anticipé qui est celui observé dans la période précédente. Ce prix réel (observé) est obtenu par la confrontation des quantités offertes et demandées.

Les résultats de la simulation de base (référence) obtenus par ces modèles et qui seront présentés dans la partie suivante sont très encourageants et incitent à les utiliser d'une manière plus poussée dans la simulation des politiques et des instruments d'interventions proposés par la théorie économique ainsi que dans l'évaluation de l'adéquation et des capacités d'adoption de ce type d'approche.

TROISIEME PARTIE :
LES MODELES BIO-ECONOMIQUES : ANALYSE
DES RESULTATS ET EVALUATION
DES POLITIQUES

CHAPITRE 1 : LES RESULTATS DES MODELES INDIVIDUELS ET AGREGE DE BASE

Introduction

Nombreux sont les effets négatifs sur l'environnement ayant des causes économiques, et plusieurs sont les impacts environnementaux sur les activités économiques. La compréhension et l'évaluation économique de ces effets environnementaux constituent un facteur préalable à la définition de toute politique d'environnement et une composante essentielle dans toutes décisions d'investissements dans de nouveaux projets ou politiques économiques. Il ne s'agit pas de prétendre que les valeurs multiples de l'environnement ou des ressources naturelles peuvent être réduites à une expression économique, ce qui n'est évidemment pas vrai, mais l'évaluation permet d'illustrer l'incidence économique des modifications de l'environnement et offre souvent un éclairage supplémentaire. Plusieurs méthodes permettent de telles évaluations mais elles ne sont guère connues que d'un petit nombre de techniciens et modélisateurs. La programmation mathématique, appliquée à notre cas, constitue l'une des approches les plus répandues dans ce domaine.

L'utilisation de la programmation mathématique, éventuellement sous forme linéaire imposant le recours à l'optimisation, peut se faire soit de façon descriptive afin d'expliquer la réaction probable des divers acteurs face aux changements des politiques, soit d'une façon normative comme un outil d'aide à la décision.

Dans le présent travail, comme nous l'avons déjà signalé, l'utilisation descriptive nous semble beaucoup plus appropriée, du moins au départ. Avec cette utilisation, notre objectif primordial est de reproduire le fonctionnement des systèmes de productions des exploitations représentatives. Ceci nous permet d'une part, de comprendre les interdépendances entre les variables et les composantes internes à chaque exploitation type et, d'autre part, de détecter les principaux points de blocage et d'étranglement auxquels elles sont confrontées. *"L'objectif est donc non pas de dire ce [que les agriculteurs] doivent faire mais comprendre pourquoi ils font ce qu'ils font"* (Lacombe PH., 1996).

Cependant, quel que soit le type d'utilisation, normative ou positive, il est indispensable avant de s'en servir pour prendre une décision, de vérifier sa qualité. Il faut tout d'abord, naturellement, s'assurer de sa cohérence interne : les relations

algébriques, qui constituent le modèle correspondent-elles à ce qu'on sait par ailleurs du phénomène étudié ? Mais cela n'est pas suffisant ; il est donc nécessaire de trouver un moyen de comparer les résultats du modèle avec ceux qu'il "aurait dû" donner s'il avait fonctionné parfaitement (Boussard J.M., 1987).

Pour les modèles purement descriptifs, la validation se base sur des tests historiques, c'est-à-dire essayer de faire fonctionner ceux-ci dans un environnement observé dans le passé, et de comparer les valeurs prédites par ces modèles à celles qui ont été effectivement enregistrées, en prenant comme objectif la maximisation du profit de l'exploitation (Boussard J.M., 1987).

Cependant, cette tâche est loin d'être facile. En effet, bien qu'il soit aisé d'admettre que l'entrepreneur cherche à maximiser le bénéfice de son exploitation, il est difficile d'exprimer sa préférence entre des activités très productives risquées et des activités moins productives mais avec un risque moindre. Il est de même difficile de savoir s'il cherche un bénéfice à court terme ou bien à long terme.

Par conséquent, nous allons considérer que les modèles ont une qualité acceptable lorsqu'ils conduisent à des plans de production de bases voisins de ceux effectivement réalisés dans la situation initiale connue (1998/1999) ainsi que lorsqu'ils reproduisent et reflètent les tendances actuelles de l'évolution des plans de productions. Ces plans de productions de base ainsi obtenus seront considérés comme des plans de références, support de toute comparaison avec d'autres solutions alternatives.

I. Validation des modèles de base : reproduction des tendances actuelles

Avant de nous pencher dans la présentation des résultats des exploitations types, nous voulons rappeler que la validation des modèles a été faite lorsque ceux-ci sont optimisés comme faisant partie du modèle agrégé et non pas lorsqu'ils le sont individuellement. Les raisons de ce choix sont justifiées par le fait que l'optimisation au niveau agrégé représente mieux la réalité où les transferts de main d'œuvre entre diverses exploitations sont très fluides et les phénomènes d'intégration entre les propriétaires des terres et propriétaires de biens d'équipement sont assez importants, contrairement au cas de l'optimisation individuelle où ces relations n'apparaissent pas.

Cette validation a été basée, comme nous l'avons déjà dit, sur l'utilisation de la

fonction objectif agrégée du genre néoclassique⁴³, - maximisation d'utilité espérée globale -, étant donné qu'elle permet de représenter la fonction d'utilité réelle des producteurs. Associée à un choix convenable des coefficients d'aversion au risque spécifiques à chaque groupe d'exploitation, cette fonction devrait nous permettre de reproduire les plans de production voisins de ceux effectivement réalisés dans la situation initiale connue ainsi que leurs tendances actuelles d'évolution. Cette reproduction, néanmoins, ne peut être obtenue sans l'adoption des hypothèses suivantes :

- Les prix de vente anticipés des produits animaux (viande et lait), des produits maraîchers et des produits arboricoles utilisés dans l'optimisation pour l'année A, sont ceux observés pendant l'année précédente (A-1). Ces prix sont exogènes⁴⁴ pour l'année de départ, mais ils sont endogénisés (reinitialisés) pour le reste des années par un croisement de la quantité offerte à la fonction de demande. En revanche, les prix des produits céréaliers de consommation (blé dur, blé tendre et orge) et des produits fourragers⁴⁵ sont exogènes pour toutes les années avec un coefficient de variation conforme aux données du marché local⁴⁶ puisque les premiers sont administrés⁴⁷ et les seconds sont impossibles à endogéniser (les courbes de demande et les élasticités sont inconnues).
- Les marchés de travail et des biens équipements sont considérés fermés et donc les transferts hors région sont supposés nuls (pas de mobilité de facteur entre la région et l'extérieur).
- Les élasticités prix des produits de consommation utilisées sont celles enregistrées à l'échelle nationale et donc il faudrait les ajuster légèrement afin qu'elles représentent bien le rapport de la variation prix-quantité demandé sur le marché local.

Cependant, avant de présenter les résultats, nous voulons signaler que la plupart des modèles présentent un décalage vis-à-vis de la réalité en terme de revenu culturel dû à la valorisation du stock dans les modèles sachant que cette dernière n'a pas eu lieu lors de l'enquête malgré son importance dans la plupart des exploitations.

⁴³ La fonction d'utilité globale choisie s'aligne au développement proposé par Von Neuman et Morgenstern (1944) qui indique que les objectifs globaux peuvent être exprimés par une fonction d'utilité résultant de l'agrégation de plusieurs fonctions objectifs partielles des agents économiques.

⁴⁴ Les prix des produits animaux, maraîchers et arboricoles pour l'année de départ sont les moyennes des prix de trois dernières années.

⁴⁵ Les prix des produits fourragers utilisés sont les moyennes des prix de trois dernières années.

⁴⁶ Il y a deux types de variabilité de prix d'un produit : la variance du prix du produit même et la covariance entre le prix d'un produit avec celui d'autres produits de substitutions. La considération de cette dernière est nécessaire mais sa mise en œuvre est difficile étant donné que la matrice de variance – covariance est non linéaire et l'information disponible pour la calculer est peu fiable. Ce raisonnement est valable aussi pour expliquer la non utilisation de l'élasticité croisée en particulier pour les produits animaux.

⁴⁷ Les prix des produits céréaliers sont administrés et donc la demande est inélastique.

1.1 Diagnostic des résultats des modèles d'exploitations de base

Il s'agit dans cette partie d'entreprendre une analyse des résultats économiques et environnementaux de chaque groupe d'exploitations obtenus par l'optimisation du modèle agrégé de base et de capturer les points de concordance et d'étranglement entre ces résultats et ceux observés dans la réalité. Analyse que nous jugeons très utile pour simuler et évaluer des politiques alternatives et leurs effets sur l'offre agricole et la gestion des ressources naturelles aussi bien à court qu'à moyen terme. Ainsi, nous avançons, pour chaque groupe d'exploitations types, premièrement les résultats de la première année de simulation et ensuite les tendances de l'évolution de ces résultats tout au long des années retenues.

1.1.1 Le modèle des petites exploitations (EP)

Un diagnostic rapide des résultats du modèle, pour la première année de simulation, et concernant les déterminants qui agissent sur le mode de fonctionnement de ce groupe d'exploitations, nous a permis de constater que :

- Le système de production obtenu par le modèle, que nous évoquons dans les tableaux en fin de section, traduit parfaitement la réalité et la logique de subsistance de ce groupe d'exploitants. En effet, son examen révèle que l'essentiel des emblavures est consacré aux cultures céréalières complétées par l'olivier ainsi que la jachère travaillée et le parcours⁴⁸ en tant que source principale de l'alimentation animale. Ce système montre que les agriculteurs privilégiaient plus une stratégie de production de type sécuritaire tournée vers les cultures les moins exigeantes en intrants et répondant plutôt aux besoins alimentaires de la famille et du cheptel qu'une stratégie privilégiant les cultures destinées au marché.
- Comme dans la réalité, le modèle propose le redéploiement de la main d'œuvre disponible pendant les périodes pour profiter des opportunités qu'offre occasionnellement le marché du travail (20 jours sont cédés pendant la période²). Ce redéploiement, même s'il ne procure que des revenus extérieurs modestes, reste un élément clef dans le dispositif économique mis en place par ce type d'exploitations.
- Les ventes dégagées par le modèle concernent essentiellement les sous produits de l'élevage tels que les agneaux et les agnelles ainsi que quelques brebis de réforme. La faible quantité du fourrage (0.75ha) produite est stockée pour une éventuelle utilisation en cas de besoin dans les périodes difficiles.

⁴⁸ Le parcours avancé dans le modèle est composé par la jachère pâturée et par le parcours amélioré qui est supposé fixe.

- La dimension économique dégagée par le modèle nous révèle que l'activité agricole procure un produit annuel d'environ 2852 dinars tunisien (DT⁴⁹) dont près de la moitié proviennent des productions végétales et le reste est assuré essentiellement par l'élevage ovin (1448DT). Traduit en revenu net, ce résultat d'exploitation représente environ 528DT par exploitation et par an. Comparé au revenu net réel, qui est de 850DT, il apparaît, néanmoins, un certain décalage qui est expliqué par le fait que les frais fixes et les charges salariales ne sont pas comptabilisés lors du calcul du revenu réel, chose déjà faite dans le modèle.

En outre, l'examen des tendances d'évolution de ce type d'exploitations révèle une légère augmentation du revenu net annuel provenant essentiellement de l'accroissement du revenu animal qui profite d'un niveau de prix parfois favorable et surtout de la vente de la plupart des nouvelles naissances (le modèle propose de garder que les animaux de remplacement). Cette augmentation qui peut ne pas représenter assez fidèlement la réalité s'explique par le fait que le modèle, en cherchant à maximiser l'utilité globale, donne plus d'importance à l'utilité privée de ce groupe qui a un coefficient de pondération élevé (67%).

Pour ce qui est du second volet de notre travail à savoir l'érosion du sol, la présence de ces exploitations dans des zones marginalisées et l'utilisation d'un système de production à base de céréaliculture - jachère travaillée ont conduit à un niveau de perte du sol assez élevé comparé à la petite taille de ces exploitations. A ces deux facteurs s'ajoute le problème d'absence des moyens financiers pour effectuer des travaux de conservation des eaux et du sol et donc une intervention à court terme dans ce domaine est nécessaire soit par l'introduction dans la rotation d'autres cultures moins érosives telles que le médicago qui fixe bien le sol, soit par l'aménagement des terrains par les techniques anti-érosives en cas de présence des ressources financières. En effet, bien que ces agriculteurs utilisent l'alternative de production attelée accompagnée de fertilisants, considérée moins érosive⁵⁰, le niveau d'érosion moyen par an dégagé par cette exploitation type est de 48 tonnes soit environ 8T/ha.

I.1.2 Le modèle des exploitants moyens qui se maintiennent (EMM)

L'absence des revenus extérieurs et l'importance des prélèvements familiaux qui

⁴⁹ 1 dinar tunisien (DT) = 5,40 francs français.

⁵⁰ L'alternative de production attelée avec fertilisant implique une maîtrise technique supérieure et donc plus de contrôle au niveau de l'érosion. Toutefois et pour des raisons méthodologiques (difficulté de tester l'effet de cette alternative par le modèle EPICPHASE), nous l'avons assimilé à l'alternative de production T2 (labour superficiel avec fertilisant).

rendent le plus souvent les exploitants de ce groupe très dépendants d'un système de production de polyculture en sec avec intégration de l'activité animale, nous a amené à choisir un coefficient d'aversion au risque assez fort (0.8) afin de représenter cette attitude qu'on qualifie de non «preneuse» de risque.

L'appareil de production dont disposent les exploitants de ce groupe que nous avons présenté dans le modèle est composé d'une superficie en propriété d'une vingtaine d'hectares, d'un capital arboricole, de plusieurs centaines de pieds d'olivier et d'amandier et d'un cheptel reproducteur d'une quinzaine de têtes ovines. Ce capital productif, introduit dans le modèle, a dégagé un revenu agricole non négligeable d'une valeur annuelle d'environ 8160 dinars dont moins du tiers est assuré par les productions animales en particulier ovines (1145DT) mais aussi consolidé et stabilisé par l'existence de l'élevage bovin. Le système de production est composé essentiellement des céréalicultures (8ha) avec la jachère travaillée comme précédente culturale ainsi qu'une petite superficie pour l'arboriculture (3ha) en tant que symbole de la sécurité mais aussi d'une large superficie des parcours comme source de pâturage et d'alimentation de bétail (4.75ha).

Le caractère peu intensif du système de production et la faible trésorerie qui est de 5000 dinars rendent difficile le dégagement d'un surplus qui permet d'accroître la capacité de production et ont conduit à céder 2.25ha sous forme de location afin de garantir une valorisation minimale de ce patrimoine. Quant à la main d'œuvre puisqu'elle est disponible, le modèle propose de la déployer pour qu'elle constitue une source de revenu extérieur (75jours).

En outre, l'examen de l'évolution de ce type d'exploitations révèle une continuité du système de production et du mode de production de l'année de départ (1998/1999) Une continuité qui reflète assez fidèlement la réalité et qui prouve que l'adoption d'un système de production plus intensif et plus productif est très difficile à supporter et que le rythme d'évolution est lent. Il va dépendre ainsi des capacités de l'exploitant et de sa famille à mobiliser des ressources extérieures (revenus extérieurs) pour financer le développement de l'appareil productif surtout que les familles tirent l'essentiel de leurs moyens d'existence de l'activité agricole. Le modèle ne fait pas recours au crédit de campagne et donc la trésorerie de l'année (A-1) est utilisée pour financer la campagne de l'année A. La légère augmentation du revenu net annuel enregistrée, d'une année à l'autre, provient essentiellement de la production animale qui profite d'un niveau de prix parfois favorable.

Pour ce qui est de l'érosion, vu que ce groupe d'exploitations est situé dans des zones de glacis et de collines avec des pentes plus ou moins fortes (8-10%), le niveau de perte enregistré, au cours de l'année de départ, est assez important de l'ordre de 282 tonnes soit environ 14T/ha. Ce niveau élevé est appuyé par l'application d'un système de production à base de céréaliculture avec la jachère travaillée comme précédente culturale qui induit une forte perte du sol. Par conséquent il faut revoir le système de production pour une éventuelle amélioration de la situation environnementale de l'exploitation.

I.1.3 Le modèle des exploitants moyens en expansion (EME)

L'analyse des résultats dégagés par ce modèle marque, comme il apparaît en réalité, une volonté d'ascension et un degré d'ouverture assez remarquable au niveau de ce groupe d'exploitations, comparé aux précédents, qui se manifestent essentiellement soit par le niveau élevé du revenu végétal par unité de surface qui est de l'ordre 334DT/ha soit par la mise en culture d'autres terres (2ha sont pris en location).

Ce processus d'évolution est appuyé par l'appropriation de matériel de traction qui a permis de dégager un surplus par sa location à d'autres agriculteurs d'environ 660DT/an. En revanche, face au manque du nombre suffisant en main d'œuvre, le modèle fait recours à la main d'œuvre saisonnière concédée par d'autres groupes (30 jours sont ainsi loués au cours de la période de récolte de céréales).

La production animale participe fortement dans le revenu agricole de ce groupe avec une valeur de l'ordre de 2130DT. L'élevage ovin qui constitue la composante principale de cette production prélève sa nourriture de la production fourragère produite au niveau de l'exploitation ainsi que du pâturage des parcours. L'olivier (8ha) et la céréaliculture continuent toujours d'occuper, néanmoins, la majeure partie des superficies car ils constituent une certaine garantie du prix et de l'écoulement ainsi qu'une valorisation au sein de l'exploitation par l'autoconsommation humaine.

La dynamique d'évolution de ce groupe se caractérise par une orientation plutôt vers les cultures fourragères (avoine foin) et du parcours pour répondre à l'augmentation de l'effectif ovin qui constitue une source d'autofinancement de tout projet de développement de l'exploitation.

Cette orientation s'est accompagnée, néanmoins, par un accroissement du niveau d'érosion étant donné que les cultures fourragères occupent la terre pendant une courte période comparées aux cultures céréalières. Malgré la forte motivation pour la

conservation du patrimoine sol qui caractérise les agriculteurs de ce groupe et l'emplacement très favorable de ces derniers dans la région (zones des plaines), le niveau d'érosion moyen reste assez élevé d'environ 5 T/ha. Ceci s'explique aussi par l'utilisation des alternatives de production très poussées en labour qui libèrent le maximum de fertilité du sol mais génèrent un niveau de perte assez élevé.

I.1.4 Le modèle des grandes exploitations qui se maintiennent (EGM)

Le système productif dégagé par ce modèle d'exploitations se caractérise par la dominance de l'arboriculture (olive et amande) et des céréalicultures à base de blé dur avec la jachère travaillée comme composante principale de l'assolement triennal céréales-fourrage-jachère. A cela s'ajoute la forte intégration de l'élevage ovin avec un effectif final de l'ordre de 123 têtes et le recours fréquent à la mécanisation en particulier pour les opérations de récolte.

Grâce à ce potentiel productif, cette exploitation dégage un revenu agricole d'environ 77718 dinars par an dont presque 90% proviennent de l'activité végétale avec 74080 dinars et le reste de l'activité animale avec 3638 dinars.

La présence d'une main d'œuvre familiale relativement faible sur l'exploitation, a amené le modèle à louer une partie de l'extérieur (53 jours) en particulier pendant la période où le besoin au niveau de l'exploitation est assez important. De même, le manque de la traction mécanique surtout pour les opérations de récolte a obligé le modèle au recours à des heures supplémentaires pour couvrir une partie de ces besoins : on enregistre ainsi la location de 25 heures pendant la période de récolte de céréales.

Au vu des caractéristiques techniques et socio-économiques de cette exploitation, le modèle prévoit une perspective d'évolution qui reproduit simplement le système productif de départ avec une légère extension des cultures fourragères qui accompagnent l'augmentation de l'effectif ovin qui atteindra 155 têtes à la fin de la simulation.

Si les piémonts et les zones marginalisées sont dominés par les petites et les moyennes exploitations, la plaine est le domaine des grandes exploitations. Cette spécificité n'a pas pu néanmoins éviter l'augmentation de l'érosion qui est estimée en moyenne à 1073 tonnes soit environ 7.5T/ha et ceci à cause de l'application d'un système de production à base céréales-fourrage-jachère ainsi qu'à l'utilisation des alternatives de production favorables à la dégradation des sols.

I.1.5 Le modèle des grands entrepreneurs (EGE)

La monoculture à base de céréales (229ha) accompagnée des cultures fourragères (201ha) constitue la composante principale du système de production généré par ce modèle. La présence de l'élevage ovin en nombre acceptable (191 têtes) a fait que le modèle choisi de tenir compte des parcours parallèlement aux fourrages mais avec une superficie relativement faible (16ha).

Ces modèles à vocation céréalière et à potentiel important se caractérisent par un faible taux d'intégration d'élevage bovin ce qui conduit à la vente d'une grande partie de la production fourragère et par conséquent à un niveau élevé du revenu agricole.

Pour les produits végétaux de consommation, l'accès au marché constitue une composante principale proposée par le modèle (plus de 80%) même si une partie de cette production est destinée à l'autoconsommation (20%). Quant aux produits animaux de consommation, ils sont orientés directement au marché et proviennent essentiellement des ventes des veaux et agneaux pour les produits viandes et des bovins pour les produits laitiers ce qui est conforme avec la réalité.

Le niveau relativement élevé du revenu net annuel (248365 DT) et de la trésorerie (254371DT) dégagée par le modèle constitue un surplus appréciable pour entreprendre des investissements productifs sans le recours à l'emprunt et à l'endettement extérieur. L'analyse des tendances d'évolution de ce revenu montre une certaine stagnation au fil des années expliquée par un assolement triennal céréales-fourrages-jachère qui fait que le revenu cultural, qui compose la majeure partie du revenu annuel, reste presque identique. Le niveau assez élevé du revenu doit être, néanmoins, pris avec plus de précautions étant donné qu'il présente un certain décalage vis-à-vis de la réalité à cause de la valorisation du stock.

En outre, les exploitants de ce groupe, qui se distinguent des autres par l'importance de leurs moyens de production notamment en ce qui concerne les biens d'équipements agricoles, constituent la frange la mieux outillée pour conduire un processus de modernisation agricole. Le nombre d'heures en traction mécanique loué ainsi enregistré est de l'ordre de 212 heures et concerne en majeure partie les moyens de récolte (moissonneuse batteuse). Toutefois, l'insuffisance de la main d'œuvre nécessaire aux opérations de production, conduit le modèle à faire recours à la main d'œuvre saisonnière en particulier pendant la deuxième période de l'année (269 jours).

La présence de ces exploitations dans des zones de plaines et la faible utilisation, en

terme relatif, de la jachère travaillée dans le système de production a fait que le modèle engendre un niveau d'érosion moyen acceptable d'environ 2007 T/an soit 4T/ha comparé aux autres groupes malgré l'utilisation des alternatives de production inadaptées.

I.1.6 Le modèle des exploitations à système de production intensif (EIN)

Le résultat économique dégagé par ce modèle d'exploitations représente, comme il apparaît dans les tableaux en fin de section, une production agricole d'une valeur de 5975 dinars dont l'essentiel est assuré par le secteur extensif et la production animale. La contribution du secteur irrigué est assez marginale et se limite essentiellement à la production maraîchère (la tomate, la pomme de terre et la pastèque) avec une superficie de l'ordre de 1.8ha.

Le système de production qui associe une polyculture, en sec et en irrigué, à un petit nombre d'élevage (dix sept unités ovines et deux unités bovines) traduit parfaitement la réalité que nous avons évoqué antérieurement. En effet et d'après le système de culture, nous constatons que l'essentiel des emblavures en sec est consacré aux cultures céréalières (blé, orge). Quant aux cultures maraîchères, elles occupent moins du quart de la superficie mise en culture et concernent surtout les spéculations maraîchères d'été telles que la pastèque et la tomate. L'arboriculture est dominée par l'olivier, pour la production de l'huile, ainsi que de l'amandier avec une superficie d'environ 2ha.

La diversification de ce système de production, l'application d'une rotation céréales-fourrages et la présence de ces exploitations dans des zones de plaine ont conduit à un niveau d'érosion annuel assez acceptable de l'ordre de 5T/ha/an.

L'autre singularité de ce type d'exploitations réside dans le recours massif à des salariés saisonniers (50 jours de travail au cours de la première période) pour faire face aux exigences en main d'œuvre d'une intensification du système de production.

Les tendances d'évolution proposées par ce modèle, contrairement aux autres groupes, sont loin d'être linéaires et suivent une trajectoire ascendante. D'après la courbe de tendance, le revenu annuel passe de 4182DT à 8045DT soit une augmentation annuelle d'environ 10%. Cette augmentation est induite par une forte ascension du revenu animal et par l'orientation du modèle vers les cultures céréalières au détriment des fourrages et des cultures maraîchères qui sont trop influencés par les prix et dont les coûts de production sont plus élevés.

I.1.7 Le modèle des exploitations à système de production semi-intensif (ESI)

Les performances techniques et économiques de ce type d'exploitations sont comparables à celles des exploitations précédentes malgré que la disponibilité de l'eau soit moins fréquente. Elles permettent de réaliser un revenu agricole de l'ordre de 5832 dinars dont près du tiers provient des cultures en sec et le reste est assuré par les cultures en irrigué et par la production animale qui continue à être dominée par un élevage ovin traditionnel avec un effectif d'environ dix têtes.

Le système de production repose sur le triptyque classique de la production agricole à savoir les cultures céréalières et arboricoles en sec, les cultures irriguées en particulier maraîchères et les cultures fourragères indispensables pour l'alimentation du bétail.

L'analyse de tendance montre, d'après les résultats du modèle, une grande modification au niveau du système productif qui se manifeste par une réduction de la superficie des cultures maraîchères au profit des cultures céréalières et fourragères. Cette modification qui reflète bien la forte aversion au risque pour les agriculteurs de ce groupe trouve sa justification au niveau des deux raisons suivantes : 1) le coût de production des cultures céréalières est moins élevé que celui des spéculations maraîchères 2) les prix à la production ou d'anticipation sont moins aléatoires pour les céréales que pour le maraîchage 3) la présence d'élevage nécessite forcément l'accompagnement des cultures fourragères et de l'orge.

Au niveau écologique la pratique de la céréaliculture dans ces exploitations situées sur des pentes, sans respect des contraintes de la topographie, associée à la généralisation d'une mécanisation non adaptée a conduit à un niveau élevé de l'érosion de l'ordre de 150 T/an soit environ 11.5T/ha/an malgré la faible présence de la jachère travaillée.

I.1.8 Le modèle des exploitations publiques (EPU)

Les résultats obtenus par le modèle de base sont très proches de ceux réellement observés sur l'exploitation. La solution optimale ainsi obtenue dégage un revenu net annuel d'environ 220017 dinars et ce pour une superficie labourable de 900 ha, soit une productivité moyenne du facteur terre de 244.5 DT/ha.

Comparée à la situation réelle, cette solution présente un certain décalage qui est expliqué par la non valorisation des stocks en particulier celui des produits fourragers (paille et foin) lors de l'enquête et qui constituent des quantités très importantes.

En outre, afin d'assurer une alimentation continue sur toute l'année pour un effectif d'animaux toujours en augmentation (1919 têtes ovines), le modèle préfère s'orienter vers la plantation des cultures fourragères (300ha) ainsi que la culture de médicago (312ha) qui s'adaptent mieux aux conditions climatiques difficiles. La jachère travaillée continue de prendre une place assez importante (50ha) malgré l'introduction du médicago dans l'assolement.

La trajectoire d'évolution proposée par ce modèle, présente des variations plus accentuées que celles des autres groupes, du au poids important de l'élevage ovin dont les prix fluctuent considérablement.

Quant au problème de l'érosion, l'application du médicago qui fixe bien le sol dans la rotation, le retrait de la jachère travaillée et l'introduction des travaux de conservation des eaux et du sol au niveau de cette exploitation ont donné lieu à un niveau de perte en sol le plus faible comparé à tous les autres groupes et qui est de l'ordre de 2T/ha.

I.1.9 Le modèle des sociétés de mise en valeur et de développement agricole (SMVDA)

Les principaux secteurs d'activité de ces sociétés, obtenus par le modèle, sont l'élevage à orientation viande et lait, les grandes cultures et les cultures maraîchères.

Dans l'activité en sec, le système de culture repose sur les céréales (blé et orge) selon une succession triennale rigide avec les fourrages et la jachère. Quant à l'activité en irriguée, elle est basée essentiellement sur le blé tendre en irrigué ainsi que sur les cultures maraîchères telles que la tomate, la pomme de terre et la pastèque. Cependant, la présence de l'ensemble de ces cultures dans l'assolement ne suffit pas pour que le modèle reflète assez fidèlement la réalité. En effet, et d'après les résultats obtenus, on remarque que le modèle défavorise la culture de pomme de terre et l'orge en faveur d'autres cultures telles que l'avoine foin, la tomate et la pastèque qui s'explique par l'utilisation des coefficients techniques en terme de coûts plus élevés que ceux des variétés locales et peut être par une mauvaise prise en compte de la variabilité des rendements de ces cultures.

L'application de ce système de culture combiné à un effectif animal d'environ 400 brebis et 34 vaches, a permis d'obtenir un revenu annuel très élevé de l'ordre de 287041 dinars dont la grande partie provient des ventes des cultures.

Ayant ces revenus et malgré leurs faibles poids régional, ces exploitations influencent fortement la fonction objectif du modèle agrégé et donc la valeur finale de l'utilité régionale. Cette influence apparaît aussi au niveau de la détermination de la trajectoire d'évolution de cette utilité. L'analyse des tendances d'évolution de ce groupe d'exploitations montre que le revenu ne cesse pas d'augmenter au fil des années et ceci grâce à l'accroissement de la valeur des ventes des produits animaux qui profite des niveaux des prix assez favorables.

Cette évolution s'est traduite favorablement par une stagnation du niveau de l'érosion avec quelques fluctuations intermédiaires qui s'explique par l'application d'un système de culture presque identique à celui de la première année qui est de type céréales-fourrages. Le niveau moyen d'érosion ainsi enregistré est d'environ 5T/ha, un niveau qu'on peut juger assez élevé vu que ces exploitations existent généralement dans des zones de plaines.

Tableau.3.1 Comparaison des systèmes de cultures des modèles de base et réel

Exploitations	OLIVE – AMANDE		BLE		OF
	M. réel	M. de base	M. réel	M. de base	M. réel
Petites exploitations	1.50	1.50	2.00	1.50	1.00
Exploitants moyens qui se maintiennent	3.00	3.00	5.50	6,00	3.50
Exploitants moyens en expansion	8.50	8.50	12.00	14.00	8.00
Grandes exploitations qui se maintiennent	7.00	7.00	44.00	35.00	24.00
Les grands entrepreneurs	7.00	7.00	210.00	229.00	40.00
Exploitations avec système intensif	2.50	2.50	4.00	3.00	0.75
Exploitations avec système semi-intensif	3.50	3.50	3.50	2.00	1.00
Exploitations publiques	35.00	35.00	164.00	135.00	33.00
SMVDA	0.00	0.00	225.00	254.00	75.00

Source : résultats des modèles bio-économiques

Tableau.3.1 Comparaison des systèmes de cultures des modèles de base et réel (suite)

Exploitations	JACHERE TRAVAILL		TOMATE		POMME
	M. réel	M. de base	M. réel	M. de base	M. réel
Petites exploitations	0.50	0.75	0	0	0
Exploitants moyens qui se maintiennent	2.00	2.25	0	0	0
Exploitants moyens en expansion	6.00	8.00	0	0	0
Grandes exploitations qui se maintiennent	20.00	25.00	0	0	0
Les grands entrepreneurs	85.00	43.00	0	0	0
Exploitations avec système intensif	2.50	2.00	0.50	0.50	0.20
Exploitations avec système semi-intensif	3.5	2.50	0.5	0.5	0.25
Exploitations publiques	127	50.00	0	0	0
SMVDA	69.00	45	20.00	25.00	14.00

Source : résultats des modèles bio-économiques

Tableau.3.2 Les résultats des modèles de base en terme des revenus

Exploitations	Revenu culturel	Revenu animal	Revenu financier	Rever
Petites exploitations	1403.87	1447.86	-2323.54	5
Exploitants moyens qui se maintiennent	7013.81	1145.93	-4542.39	36
Exploitants moyens en expansion	16030.61	2130.72	-8137.07	10
Grandes exploitations qui se maintiennent	74080.28	3638.15	-12592.6	65
Les grands entrepreneurs	325854	2603.19	-80092.2	24
Exploitations avec système intensif	5227.01	747.62	-1792.12	41
Exploitations avec système semi-intensif	4991.54	840.27	-1864.82	36
Exploitations publiques	271208.4	16283.76	-67474.9	22
SMVDA	409811.5	24769.48	-147540	28

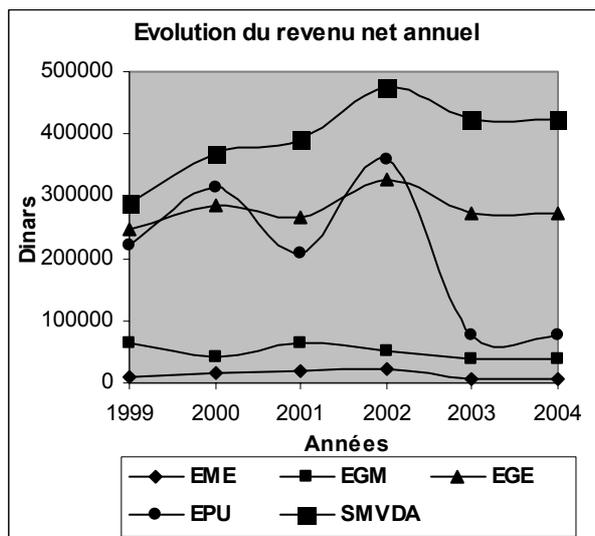
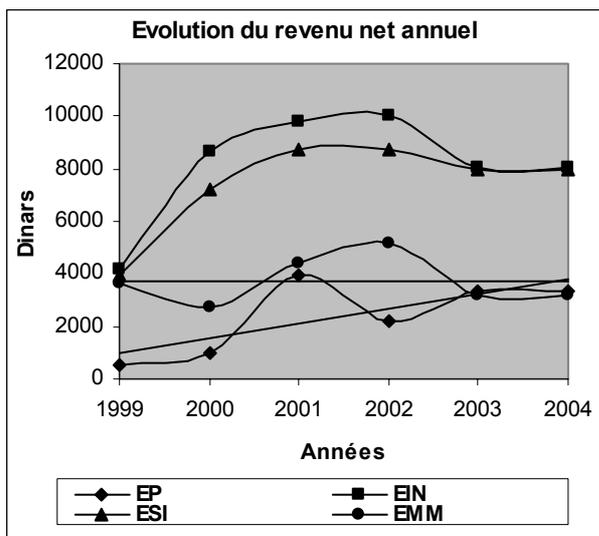
Source : résultats des modèles bio-économiques

Tableau.3.3 Les résultats des modèles de base en terme de trésorerie, effectif et érosion

Exploitations	Trésorerie prévisionnelle	Trésorerie ajustée	Erosion	Effec
Petites exploitations	729.23	1212.76	68.52	
Exploitants moyens qui se maintiennent	3552.26	5889.52	303.22	
Exploitants moyens en expansion	6858.66	7000.61	152.98	
Grandes exploitations qui se maintiennent	64147.56	64567.81	1334.86	
Les grands entrepreneurs	249035	254371.89	2046.62	
Exploitations avec système intensif	7357.62	7295.61	78.35	
Exploitations avec système semi-intensif	5903.66	5875.39	177.62	
Exploitations publiques	141842.22	142532.82	3143.22	
SMVDA	186006.51	175241.68	2321.25	

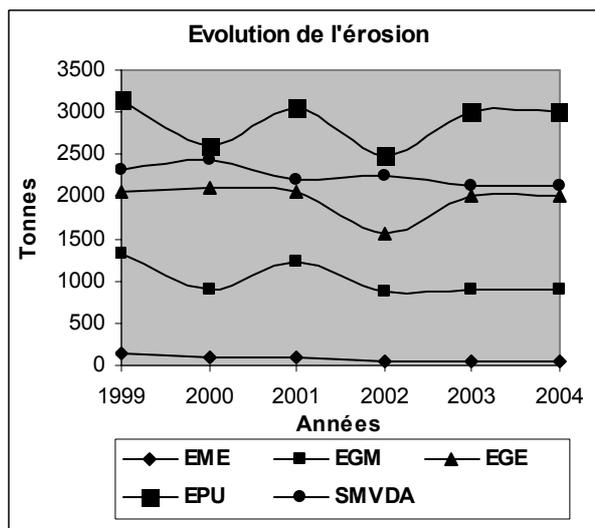
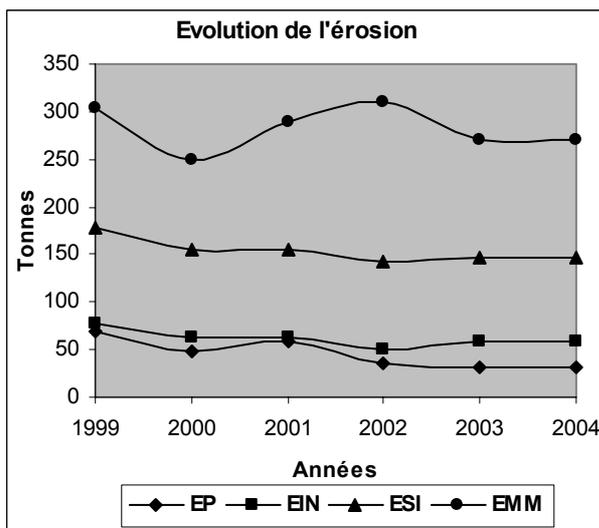
Source : résultats des modèles bio-économiques

Graphique.3.1 Evolution du revenu net annuel par groupe d'exploitation



Source : résultats des modèles bio-économiques

Graphique.3.2 Evolution de l'érosion par groupe d'exploitation



Source : résultats des modèles bio-économiques

1.2 Présentation des résultats du modèle agrégé de base

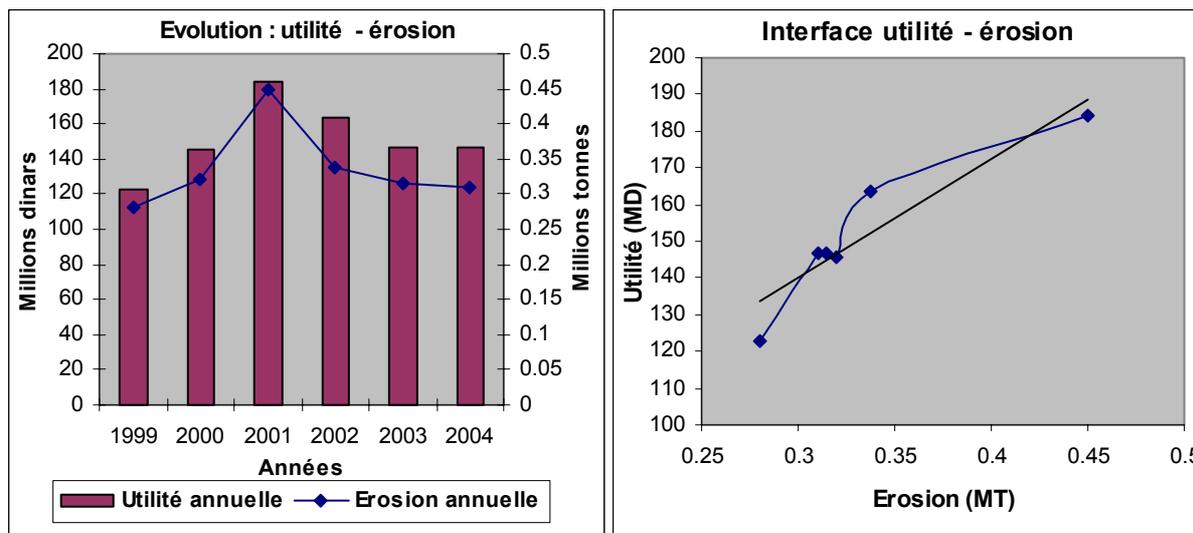
1.2.1. La fonction objectif agrégée : utilité espérée globale

La solution optimale dégagée par le modèle de base en terme d'utilité espérée globale, dans le premier horizon de planification, est de l'ordre 368 millions de dinars tunisiens, soit une utilité moyenne annuelle d'environ 122 millions de dinars (presque 8 pour milles de PIB agricole). Cette solution dont la majeure partie provient des petites et des grandes exploitations (EP, EGE) ainsi que des sociétés de mise en valeur (SMVDA) montre que malgré les conditions climatiques et édaphiques défavorables, les exploitants arrivent à dégager un niveau de revenu et un surplus assez acceptable. A ce résultat économique satisfaisant qui représente la valeur marginale des moyens productifs s'associe néanmoins une externalité agricole en terme d'érosion très importante estimée par le modèle à 0.84 millions de tonnes. Cette externalité reflète assez fidèlement la situation environnementale de la région de Zaghouan où l'utilisation des rotations culturales céréales-jachères est la plus dominante, l'application des alternatives de production inadaptées est très fréquente et où l'aménagement des terres par des techniques de conservation des eaux et du sol est loin d'être satisfaisant.

En outre, l'analyse des trajectoires d'évolution des résultats économiques et environnementaux, montre d'une part, leur forte influence par celles des exploitations citées auparavant et d'autre part, la grande corrélation entre la maximisation du revenu et ses effets néfastes sur l'environnement qui confirme l'hypothèse de convexité des fonctions d'externalité avancée par les économistes néoclassiques de l'environnement. Cette convexité, obtenue suite à l'application des alternatives et des systèmes de productions réels, reste, néanmoins, instable et peut disparaître dès l'introduction d'autres alternatives de production ainsi que d'autres assolements et rend ainsi très difficile la détermination, avec des instruments classiques, d'un niveau optimal conciliant entre la rentabilité économique et l'efficacité environnementale.

L'augmentation considérable de l'utilité annuelle au cours de l'année 2001 s'explique essentiellement par l'accroissement des revenus animaux qui ont profité d'un niveau de prix assez élevé pendant cette année et en particulier au niveau des petites exploitations et dans les sociétés de mise en valeur et de développement.

Graphique.3.3 Evolution de l'utilité et de l'érosion annuelle

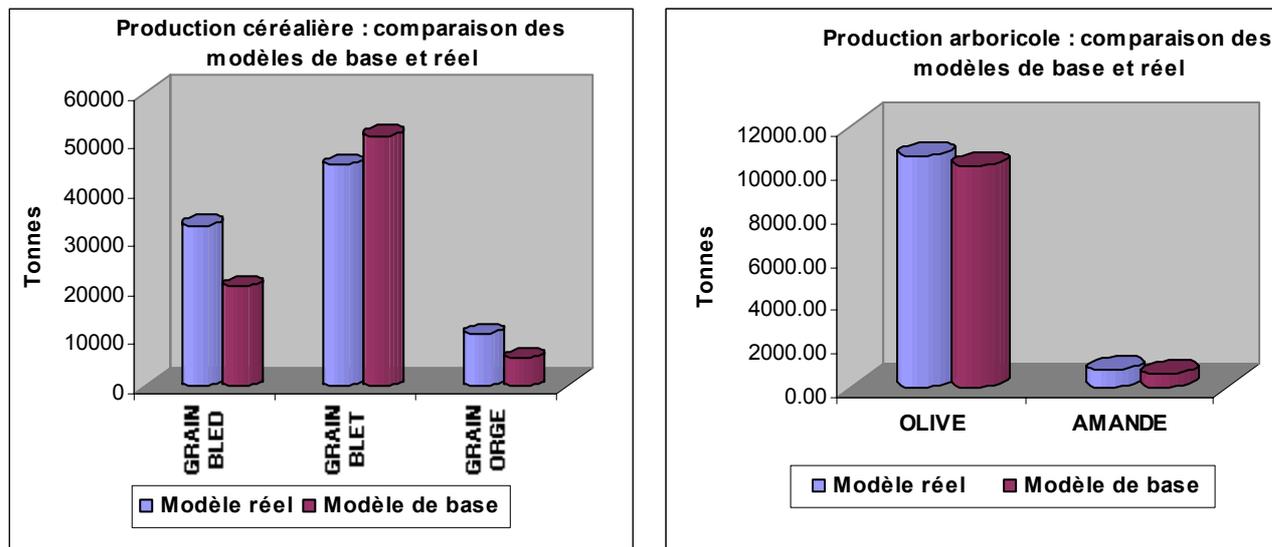


Source : résultats des modèles bio-économiques

1.2.2 La production végétale

Une comparaison du niveau de la production des produits végétaux entre les résultats du modèle de base et la situation réelle observée au cours de la campagne 1998/1999 végétale est rapportée aux graphiques ci-dessous.

Graphique.3.4 La production céréalière : comparaison des modèles de base et réel



Source : résultats des modèles bio-économiques

La première lecture des graphiques montre que le modèle essaye de représenter assez fidèlement la réalité malgré la présence de certaines divergences entre les résultats et en particulier au niveau des céréales qui peut être expliquée par le fait

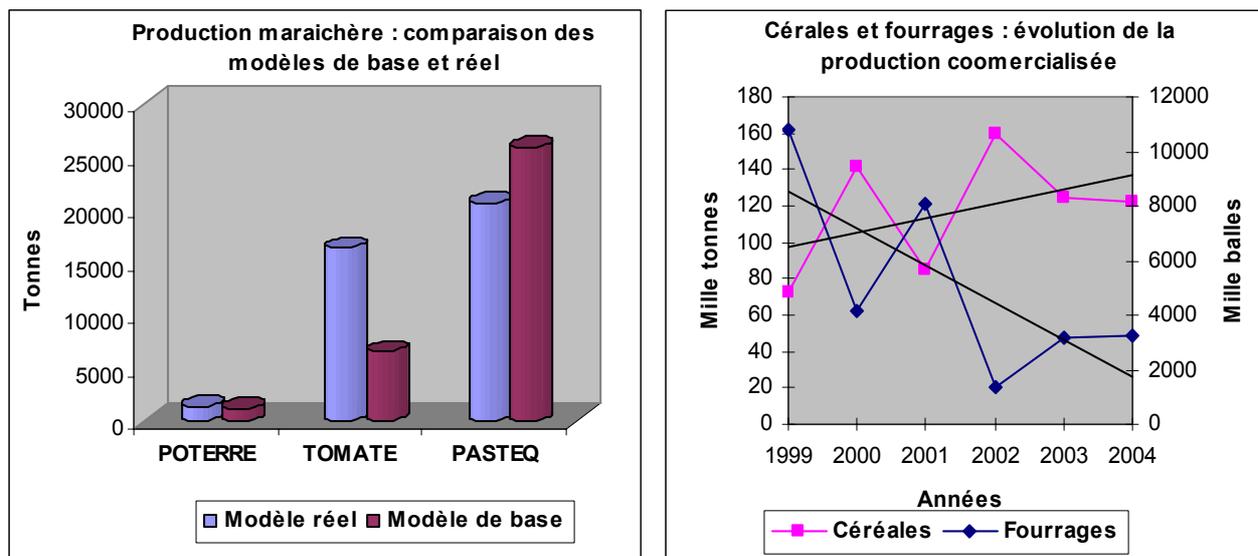
que la prise en compte de la variabilité des rendements de l'orge n'est pas tout à fait correcte, ce qui favorise le blé tendre dans la prise en compte du risque surtout dans les exploitations moins preneuses de risque.

Pour l'arboriculture, la superficie a été considérée comme une variable exogène constante tout au long des années de simulation. Ce choix se base sur l'idée d'éviter d'avoir un modèle plus complexe qui pourrait représenter l'évolution dynamique de la productivité des arbres depuis leur plantation jusqu'à leur arrachage.

Quant aux cultures maraîchères, le modèle de base présente un décalage vis-à-vis de la réalité revenant essentiellement à la compensation entre les différentes cultures. La haute profitabilité de la pastèque en terme de marge brute et sa faible exigence en eau d'irrigation comparée aux autres cultures (pomme de terre et tomate) a fait que le modèle choisit une répartition différente de celle observée dans la réalité tout en gardant la même allure ascendante en terme de superficie et production c'est-à-dire pastèque - tomate - pomme de terre.

Les trajectoires d'évolution de cette production végétale sont marquées essentiellement, d'après les courbes de tendances, par une augmentation continue de la production céréalière qui est suivie en revanche par une chute considérable de la production fourragère. L'évolution de la production céréalière, qui est trop influencée par la production des grandes exploitations et qui reflète fortement la réalité, s'explique par le symbole de sécurité et de consommation qui caractérise cette culture dans la région. En revanche, la chute de la production fourragère ne s'explique pas par la régression de cette culture au niveau régional mais plutôt par l'augmentation du son stockage qui accompagne l'augmentation de l'effectif animal observé dans la plupart des exploitations. En effet, contrairement aux céréales dont les prix sont fixes et connus d'avance, la production fourragère varie énormément d'une année à l'autre suivant les conditions climatiques et selon les prix, ce qui conduit à maintenir, dans la plupart des modèles d'exploitations, un système de culture de type céréale-fourrage et un niveau de stock de fourrage toujours supérieur au besoin.

Graphique.3.5 La production maraîchère : comparaison des modèles de base et réel



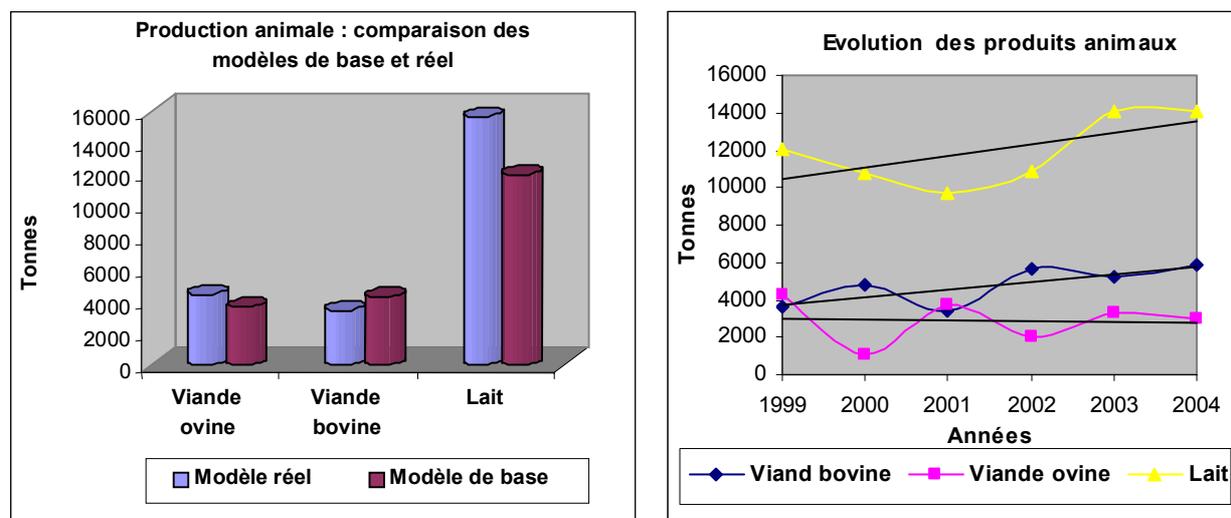
Source : résultats des modèles bio-économiques

I.2.3 La production animale

Comme il apparaît dans les graphiques ci-dessous, la production animale en viande et en lait dégagée par le modèle de base se rapproche énormément à celle observée dans la réalité. Ce rapprochement constitue un élément très encourageant pour réaliser des simulations et pour tester l'effet des politiques alternatives en ce domaine. Un petit décalage apparaît néanmoins au niveau de la production du lait qui peu être expliqué par la surestimation de l'autoconsommation au niveau des modèles.

Les tendances actuelles d'évolution de cette production montrent, d'après les droites de régressions, une stagnation de la viande ovine et une augmentation de la viande bovine ainsi que celle du lait. Ces tendances qui reflètent assez fidèlement les orientations réelles ne cachent pas non plus les fluctuations de ces produits d'une année à l'autre qui sont dues essentiellement à la disponibilité des produits fourragers, à la trésorerie et plus particulièrement aux prix anticipés des produits végétaux et animaux.

Graphique.3.6 La production animale : comparaison des modèles de base et réel

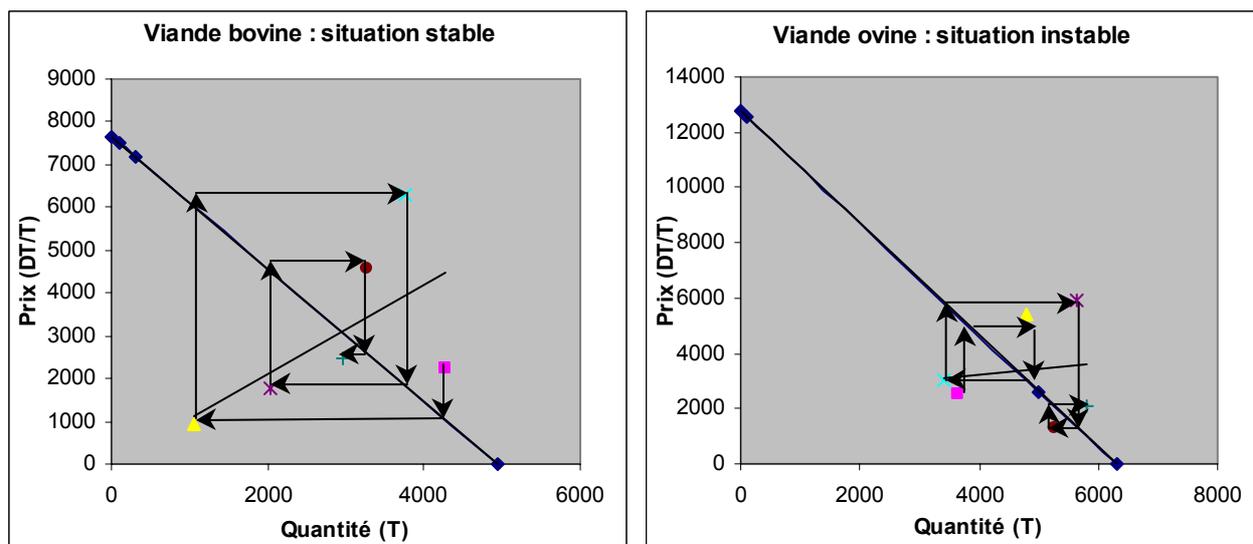


Source : résultats des modèles bio-économiques

Les résultats obtenus par ce modèle, dynamique et récursif avec adaptation retardée, sont aussi très satisfaisants d'un point de vue strictement méthodologique : il est ainsi possible par exemple de faire une distinction entre les prix de marché et les prix anticipés et expliciter leurs relations. Son utilisation nous a permis ainsi d'analyser l'évolution de la production en fonction des prix anticipés et de caractériser la forme et l'orientation du marché.

Appliquée à la production de la viande, cette spécificité, nous a permis de montrer, d'après les graphiques ci-dessous, que le cheminement du marché pour la viande bovine tend vers une position d'équilibre et de stabilité dynamique, même si notre modèle ne cherche pas à atteindre cet équilibre. Par contre celui de la viande ovine s'oriente plutôt vers une situation amplifiée et divergente expliquée par la forte variation de la demande par rapport au prix comparée à celle de la quantité offerte. Cette instabilité n'induit pas forcément une grande variabilité des prix vu que son intervalle d'oscillation par rapport à la moyenne reste dans les normes. Une intervention de l'Etat sur le marché de ce produit serait nécessaire pour le stabiliser.

Graphique.3.7 Evolution des prix et des produits animaux



Source : résultats des modèles bio-économiques

Conclusion

Notre objectif, dans le présent chapitre, s'inscrivait dans une perspective d'analyse et de reproduction de la situation et du mode de production actuel des exploitations agricoles types et dans une optique d'évaluation de l'impact de celles-ci sur l'environnement naturel tant au niveau individuel qu'agrégé. La première lecture des résultats ainsi obtenus, nous a permis de dégager deux volets fondamentaux :

1) Le premier volet, d'ordre économique, s'intéresse aux résultats de la reproduction des systèmes de production actuels ainsi que leurs tendances d'évolution futures obtenus par les modèles de bases : sans prétendre être exhaustive et approfondie, l'analyse des principales composantes de l'agriculture dans la région de Zaghouan représentée par les modèles de base, a permis de révéler que, malgré les conditions climatiques, édaphiques et socio-économiques difficiles, cette région offre encore des potentialités non négligeables qui devraient être exploitées pour un meilleur développement.

- Les céréales et en particulier le blé (autoconsommation, symbole de sécurité, valeur marchande stable...) occupent toujours une place centrale dans les systèmes de production pratiqués par les agriculteurs de la région et le passage à d'autres systèmes de production, fondés sur l'élevage, par exemple, n'est pas facile et contribue à accroître la dépendance des exploitations (en les soumettant davantage aux aléas climatiques) et à les rendre plus vulnérables.

- Les cultures fourragères susceptibles de remplacer le plus facilement les céréales ne semblent pas connaître de développement important et restent une activité spéculative dans la plupart des cas. Ceci est dû, aux fluctuations que connaissent les prix à la commercialisation des fourrages qui, contrairement aux prix fixes et connus d'avance des céréales, obéissent à la loi de l'offre et de la demande et subissent des variations importantes d'une année à l'autre. Cependant et dans certains groupes d'exploitations on enregistre une légère augmentation de la superficie consacrée à cette culture vu que sa valorisation est assurée par l'élevage.
- La libéralisation du prix des viandes a permis certes une meilleure valorisation de ce produit dans un premier temps, mais a abouti aussi à une baisse importante pendant les années de forte production et pendant les années de sécheresse suite à une forte liquidation massive du cheptel. L'absence de mécanismes de régulation et d'intervention par les pouvoirs publics sur le marché du foin et de la viande afin de protéger les producteurs, rend ces deux spéculations plus risquées que la production céréalière.
- Les autres voies d'évolution pour les groupes ayant des systèmes de production intensif et semi-intensif nécessitent quant à elles une transformation complète du système de production et une maîtrise des techniques de production ainsi qu'un effort de financement.

2) Le second volet, d'ordre environnemental, concerne l'impact des techniques, des pratiques et des systèmes de production, employés actuellement par les exploitants, sur l'érosion du sol ainsi que le rapport entre celle-ci et les revenus agricoles : l'analyse de divers systèmes et modes de productions appliqués au niveau de chaque exploitation type, nous a permis de confirmer l'hypothèse classique avancée par les approches standards de l'environnement et qui est : la recherche toujours croissante de la maximisation du revenu et de la satisfaction des besoins du marché conduit généralement à des problèmes d'environnement. En effet, l'utilisation des alternatives de production très poussées en labour qui libèrent plus de fertilité, l'introduction de la jachère travaillée dans le système de production afin d'augmenter les rendements et l'absence des investissements en matière anti-érosive dont l'efficacité économique ne se traduit qu'à moyen et long terme, conduisent à une détérioration massive de la ressource sol et en particulier dans les zones marginalisées avec des pentes plus ou moins élevées. Une telle détérioration nécessite une intervention rapide et ceci à travers des politiques cohérentes et surtout bien ciblées étant donné que les fonctions production-érosion sont parfois non-convexes, non linéaires et discontinues, tel est l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE 2 : EVALUATION ET PROPOSITION DES POLITIQUES

Introduction

Dans le domaine de l'environnement, l'intervention des pouvoirs publics a toujours pour objectif d'obtenir une certaine modification de l'état de l'environnement naturel ou créé par l'homme par rapport à ce qu'il aurait été en l'absence d'une telle intervention. La qualité ambiante du milieu récepteur constitue la meilleure mesure de cette modification sous l'angle qualitatif. Les interventions prennent fondamentalement deux formes : élaboration des lois, règles ou règlements (institutionnalisés ou implicites), afin d'imposer des modifications des comportements économiques déterminés ; et/ou interventions sur le marché pour aboutir à une allocation des ressources différente et ceci en appliquant des instruments économiques (néoclassiques et libéraux). L'ensemble de ces interventions peut être grossièrement classé selon un axe : politique sectorielle ou politique économique globale.

Bien que les effets de l'application de l'une ou de l'autre de ces formes puissent être positifs, les deux présentent des inconvénients. Sans se faufiler dans ce débat classique de comparaison théorique entre ces deux formes déjà présentées antérieurement, l'application de chacune d'elle, nous semble avoir des effets, non seulement dans le domaine de l'environnement, mais aussi au niveau du secteur auquel elle s'adressait et conduira par conséquent à plusieurs optima de second rang dont le choix entre eux est difficile et dépendra du point de vue du décideur et non du scientifique.

Actuellement, les discussions sur la politique de l'environnement se déroulent souvent comme s'il fallait choisir, sans nuances, entre les mesures réglementaires et les instruments économiques. Or, la réalité prouve que le choix est beaucoup plus vaste. Il existe en effet plusieurs mesures, projets et programmes qui font partie de l'arsenal des politiques d'environnements qui n'entrent pas dans ces deux catégories tel est le cas des projets de déboisements, d'installations des techniques moins polluantes, etc.

Dans le cas de l'érosion, objet de notre recherche, le choix est fait sur l'évaluation, par le biais de modèles bio-économiques, de deux politiques anti-érosives distinctes. La première se base sur des instruments contractuels d'éco-conditionnalité qui

consiste en l'élaboration d'un cahier de charges conditionnant les subventions au respect d'un code de bonnes pratiques agricoles. La seconde consiste en une politique de conservation des eaux et du sol (CES) développée en Tunisie qui se base sur l'aménagement des techniques anti-érosives selon les courbes de niveau. Les deux mesures sont complémentaires et peuvent même être combinées pour aborder ce problème (cette approche mixte est utilisée dans de nombreux pays en particulier aux Etats-Unis). La simulation de ces deux politiques et de leurs effets aussi bien économiques qu'environnementaux sera appliquée tant au niveau individuel qu'agrégé, mais à différentes échelles, avec une évaluation à court terme pour la première et une autre à long terme pour la seconde.

La non évaluation des outils d'interventions économiques et réglementaires habituels dans notre cas est justifiée par le fait que d'une part celle-ci a fait l'objet de plusieurs travaux antérieurement (Deybe, 1994) et d'autre part, elle nous semble inutile vue la complexité et la non convexité des fonctions de productions et d'externalité agricoles : il y a un risque d'une nouvelle distorsion. Toutefois, il faut rappeler que l'objectif de ce chapitre n'est pas de supplanter les critères d'évaluation économique, mais plutôt d'essayer de les associer avec d'autres critères bio-physiques, tel est objet de l'approche bio-économique.

I. L'instrument contractuel d'éco-conditionnalité : proposition d'un cahier de charge spécial érosion

La convexité joue un rôle important pour démontrer les théorèmes de l'économie de bien être et ceci on utilisant le théorème du point fixe pour montrer l'existence de l'équilibre. La convexité des préférences et des ensembles de production permet de montrer assez simplement l'existence d'un équilibre général et la continuité des offres et des demandes.

Bien que cette convexité assure l'unicité de cet équilibre et la dérivabilité de ces fonctions, elle n'est pas nécessairement vérifiée et peut être affaiblie et remise en cause en cas de présence d'externalités, ce qui donne naissance à son tour à la remise en cause des résultats obtenus et des recommandations de politique qui en résultent.

Actuellement, les problèmes de non-convexité sont de plus en plus évoqués, sans que les conséquences en termes de méthodes d'analyse et de politiques en soient pour autant tirées. Il apparaît donc nécessaire pour l'économiste qui travaille sur ce

type de problèmes de recourir aux méthodes et connaissances relevant d'autres disciplines afin de proposer des instruments efficaces. Le couplage des modèles agronomiques et économiques est une réponse possible. Son utilisation permettra donc d'évaluer et d'élaborer des instruments originaux en soi qui ont le mérite d'introduire les contraintes environnementales dans l'analyse économique. Tel est le cas de l'instrument contractuel d'éco-conditionnalité.

L'approche contractuelle des problèmes d'environnement se présente généralement sous la forme d'un regroupement volontaire d'agents autour d'accords qui améliorent la situation de chacun. Ces accords qui peuvent se substituer aux autres formes de régulation ou les compléter, ont été retenus dans plusieurs pays afin d'aboutir à l'élimination du problème d'érosion. Cette approche, qui peut être assimilée à des normes de procédé, est très employée aux Pays-Bas dans le cadre du plan pour une politique nationale de l'environnement ainsi qu'aux Etats-Unis pour une politique nationale de lutte contre l'érosion. Les contrats sont par nature flexibles et allègent le travail de contrôle et de suivi qui incombe à l'agence puisqu'elle s'appuie sur un simple contrôle *ex post*. Cependant la négociation du contrat et sa mise en route peuvent être très longues et compliquées, entraînant des coûts élevés. C'est le cas des contrats individuels lorsqu'ils concernent de nombreuses entreprises comme on le constate avec les contrats agri-environnementaux. L'efficacité du contrat dépend de son contenu et en particulier de la crédibilité des sanctions prévues. On ne peut pas tirer des conclusions générales faute de travaux d'évaluation, par ailleurs au même titre que la réglementation ou la labellisation, la multiplication des contrats peut entraîner la formation de cartels et se traduire par des barrières à l'entrée (Bonnieux F., Desaignes B., 1998).

Pour illustrer les avantages et les inconvénients de l'application de cette approche contractuelle, nous avons pensé à simuler l'impact de l'élaboration d'un cahier de charges, conditionnant les subventions au respect d'un code de bonnes pratiques, aussi bien sur l'érosion que sur les revenus agricoles individuels qu'agrégés. Cette simulation est rendue possible grâce aux diverses simulations menées par le modèle biophysique EPICPHASE et qui nous a permis de déterminer la bonne matrice input-output et de sélectionner les alternatives de production les plus efficaces et les rotations culturales les plus appropriées aussi bien d'un point de vue économique qu'environnemental.

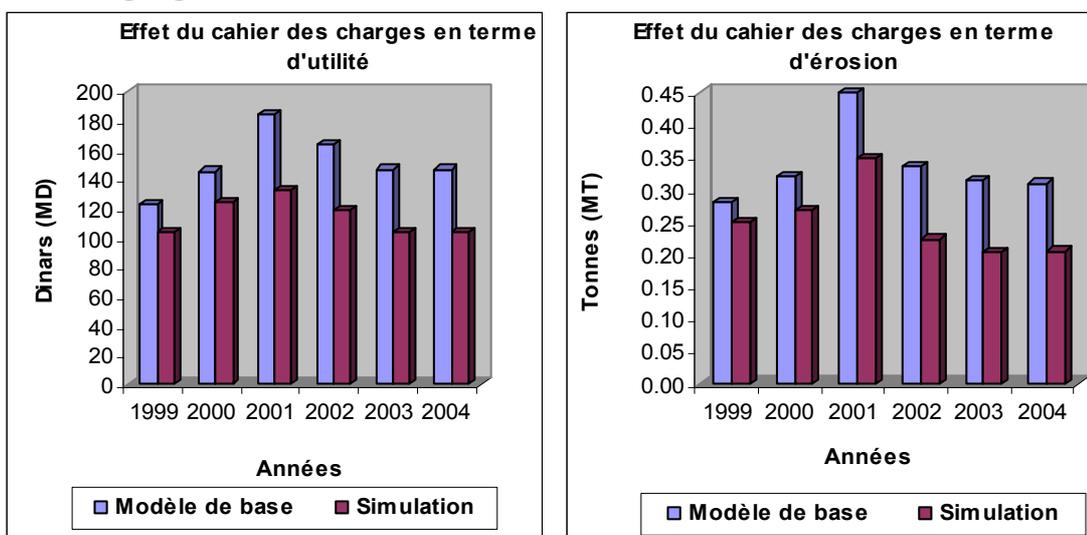
Afin d'atteindre notre objectif, nous avons introduit dans le modèle économique de base une série de quatre alternatives de production présentées antérieurement

(T1,T2,T3,T4) auxquelles nous avons correspondu les coefficients techniques spécifiques en terme de coût, de rendements et d'érosion. A cela nous avons ajouté la possibilité d'une incorporation d'une légumineuse «le médicago » dans la rotation culturale à la place de la jachère travaillée qui sera interdite.

Contrairement aux autres instruments (réglementaires et économiques) qui sont contraints dès le départ par le choix de la valeur qu'il faut affecter que ce soit à la norme (en particulier les normes d'objectifs et de résultats), à la taxe, à la subvention..., l'application de cette approche ne présente aucune difficulté surtout que les alternatives et les systèmes de production proposés ne nécessitent pas une sélection préalable puisqu'ils se complètent. Cependant, la non utilisation d'une taxe ou d'une norme complémentaire, une méthode souvent employée lors de l'application de cet instrument, ne conduit pas systématiquement à une diminution considérable de l'érosion. L'objectif du cahier des charges dans notre cas peut être assimilé à une norme des procédés techniques et non pas à une norme d'objectif ou de résultats.

La lecture des graphiques ci-dessous montre que l'effet attendu par l'application d'un cahier des charges dans la diminution de l'érosion est très satisfaisant, en particulier dans les exploitations ayant un système de production dominé par la rotation céréale-jachère avec utilisation des techniques très intensives en labour. Cette diminution s'accompagne, néanmoins, par des pertes au niveau des revenus qui peuvent atteindre plus de 40%. Ceci apparaît clairement au niveau du tableau de comparaison des revenus moyens, sur six années de simulation, avant et après l'application du cahier des charges.

Graphique.3.8 Les effets de l'application du cahier des charges au niveau agrégé



Source : résultats des modèles bio-économiques

Tableau.3.4 Les effets de l'application du cahier des charges au niveau de chaque groupe d'exploitations

	Revenu moyen (DT)			Erosion(T)		
	M. base	Simulation	Pertes (%)	M. base	Simulation	%
EP	3032.90	2403.04	26	46.64	29.56	37
EMM	4084.04	372356	10	303.22	208.19	31
EME	14088.32	12990.03	8	72.67	53.05	27
EGM	55251.09	50228.27	10	1031.71	907.90	12
EGE	497343.43	379140.58	31	1703.05	1251.80	26
EIN	8977.24	8129.12	10	58.90	39.72	33
ESI	8490.21	7424.20	14	149.47	97.95	34
EPU	368825.71	258562.11	43	2494.02	1165.07	53
SMVDA	499522.52	393886.84	27	2430.2	2138.58	12

Source : résultats des modèles bio-économiques

En effet et comme il apparaît dans le tableau ci-dessous, l'application de cet instrument s'avère particulièrement intéressante dans les petites exploitations situées dans des zones défavorisées ainsi que dans les exploitations du domaine public qui se caractérise par un système de production à base céréale-jachère ainsi que par une utilisation des techniques de production très intensives. Ceci reste valable aussi pour les grandes exploitations et les sociétés de mise en valeur dont les systèmes de production sont basés sur la céréaliculture avec la jachère travaillée comme précédante culturale.

Dans d'autre exploitation en particulier celle où la présence de l'élevage est important (EME), l'introduction du médicago dans l'assolement a induit un changement total au niveau du système de production. En effet, et à cause de la valeur nutritive du médicago, le modèle s'oriente plus vers les cultures céréalières au détriment des cultures fourragères, ce qui conduit parfois à un niveau de revenu très variable. Par contre, dans les exploitations où l'effectif animal n'est pas assez grand le modèle garde une grande partie de la superficie sous forme de la jachère morte (non travaillée) au lieu du médicago.

Les techniques de production retenues par le modèle, lors de la recherche de la solution optimale, sont essentiellement les techniques T3 (labour profond avec fertilisation) pour les exploitations en sec et la technique T4 (labour profond avec fertilisation et avec irrigation) pour les exploitations en irriguée (groupe 6, 7 et 9 dans le tableau ci-dessus). Ce choix se justifie par leur niveau de rentabilité assez élevé comparées aux autres techniques (T1 et T2) mais qui reste toujours loin du niveau réalisé par les techniques réelles et qui se base sur une utilisation très poussée en labour, et donc pour cette raison que la plupart des exploitations trouve leurs revenus diminuent avec l'application de ces techniques.

Toutefois, il faut signaler qu'au niveau des exploitations en irriguées, l'application d'un cahier des charges a donné des résultats très satisfaisants du fait que le modèle choisit la technique T4 qui dégage un niveau de rendement important et une perte en terme d'érosion assez acceptable.

Ces résultats doivent être, néanmoins, pris avec beaucoup de prudence. L'application de ce cahier des charges et l'introduction de ces techniques et ces pratiques culturales dans le système de production nécessitent une période d'apprentissage pour atteindre le niveau de perfection considéré dans le modèle, ce qui n'a pas été pris en compte dans le calcul des coûts. A cela s'ajoute le problème de coût budgétaire qui n'est non plus pris en compte dans le modèle et qui comporte les coûts de compensation intégrale de la baisse de revenus associés à la diminution de l'érosion ainsi que les coûts de contrôle et de suivie de l'application de ce cahier de charge.

Toutefois et avec le développement de la télédétection, il est légitime de considérer que les coûts de contrôle ne seraient pas trop importants surtout que les techniques proposées, interdiction de la jachère travaillée, introduction d'une légumineuse dans l'assolement et l'imposition des alternatives de labours et de production spécifiques, ne sont pas difficile à contrôler.

II. La politique de conservation des eaux et du sol (CES) : évaluation de l'efficacité des banquettes

Devant la gravité du problème d'érosion et dans le souci de limiter encore davantage la dégradation des ressources naturelles, l'Etat tunisien, s'est engagé dans une politique de maîtrise des eaux de surface et de sauvegarde des terres érodées. Cette politique, d'ordre économique et environnemental, vise la reconstitution de la fertilité, l'amélioration de la productivité et la maîtrise correcte des ressources agricoles. Elle se traduit essentiellement par la réalisation et le développement des techniques de conservation des eaux et du sol (CES). Ces techniques varient du nord au sud suivant les conditions pédoclimatiques, reposent, dans la région objet d'étude, sur le principe de lutte contre l'érosion en utilisant des techniques appropriées à savoir : la construction des banquettes en courbe de niveau, la consolidation des ouvrages, l'implantation des bandes enherbées...

Bien que les effets de ces techniques sur l'érosion soient démontrés et jugés très efficaces (Louhichi, 1997, FAO/PNUD, 1991...), leur justification économique se trouve néanmoins trop controversée. Elles sont jugées peu tangibles pour certains et

acceptables pour d'autres, laissant le champ libre à une réflexion et une analyse économique afin d'élucider ces paradoxes apparents.

Pour participer à l'éclaircissement de ce fameux débat, nous avons pensé à évaluer, à titre d'exemple, les effets des banquettes sur le résultat économique des exploitations aussi bien à l'échelle individuelle qu'agrégée. Cette évaluation est rendue possible grâce à la quantification de la relation de cause à effet entre cette technique et les rendements des cultures obtenus par le modèle biophysique EPICPHASE dans la section précédente.

En effet, avec l'utilisation du modèle biophysique nous avons démontré que l'introduction de l'aménagement par les banquettes a effectivement induit une augmentation des rendements⁵¹ selon des proportions variables liée aux facteurs suivants : le type de sol, la pente des terrains, le type de culture, les techniques de production, la précédente culturale. Une augmentation qui s'avère assez importante en particulier dans les zones à fortes pentes avec une dominance de la rotation grande culture-jachère. L'objectif de cette évaluation économique à long terme consistera, par conséquent, à préciser si cette augmentation permettra de valoriser le capital investis (le coût d'investissement), sachant que le système de production est susceptible de changer suite à l'adoption des nouveaux coefficients en terme de rendement.

L'évaluation de cette technique sera basée sur le calcul des deux critères économiques suivants :

* La valeur actualisée nette : appelée aussi le flux net de trésorerie actualisé (FNTA). Il constitue l'une des bases fondamentales des indicateurs d'évaluation les plus sophistiqués qu'on peut trouver actuellement. Ces flux de trésorerie sont représentés par tous les mouvements de fonds qui affectent le projet, au moment où ils interviennent effectivement (Houdayer R.,1993). Les principales opérations nécessaires à sa réalisation sont : 1) la détermination avec précision de la situation de référence (sans les techniques) 2) le recensement des flux de trésorerie engendrés par l'introduction de la technique de conservation. La formulation générale de ce critère est : $VAN = FNTA = \sum F_n / (1+i)^n = \sum (C_n + I_n + R) / (1+i)^n$ avec C_n : la marge brute d'autofinancement (MBA) de l'année n ; I_n : investissement de l'année n avec

⁵¹ Nous avons tenu en compte les effets induits à long terme (40 ans) car et comme nous l'avons déjà signalé les effets à court terme sont négligeables. Pour évaluer l'efficacité économique des banquettes, qu'on peut considérer virtuelle, nous avons introduit donc dans le modèle économique les rendements des six dernières années de simulations.

une durée d'amortissement de 6ans ; F_n : le flux net de trésorerie de l'année n ; R : valeurs résiduelles ; i : le taux d'actualisation.

* Le taux de rentabilité interne (TRI) : appelé aussi le taux de rendement interne ou *internal rate of return*. C'est le taux d'actualisation qui rend nul le flux net de trésorerie actualisé. Il indique le taux d'intérêt effectif (et non pas nominal) d'un placement du même montant que l'investissement et rapportant les différentes marges sur la période. La formulation générale de ce critère est :

$$F_n/(1+i)^n = \sum (C_n + I_n + R) / (1+i)^n = 0.$$

Cette évaluation, néanmoins, ne peut être accomplie sans l'adoption des hypothèses suivantes

* L'hypothèse zéro du taux d'actualisation : les débats sur le taux d'actualisation sont multiples et parfois assez opaques. Pour simplifier, il est utile de décomposer ce taux en une composante individuelle, dite préférence pure pour le présent, qui traduit le fait qu'étant mortels, les agents économiques accordent plus de valeur à l'immédiat qu'au futur, et une composante sociale qui traduit l'anticipation d'une plus grande richesse future, ce qui implique une moindre utilité marginale des biens économiques futurs quels qu'ils soient (Salles JM., 1995). La perspective d'équité intergénérationnelle nous conduit à ne pas tenir compte de la préférence de la génération actuelle pour son présent au détriment du présent des générations futures et donc à prendre une valeur nulle pour le taux de préférence pure pour le présent.

L'hypothèse zéro formulée ici postule ainsi un effet proportionnel et symétrique des changements techniques sur les coûts de limitation de l'érosion et sur les avantages liés à la maîtrise correcte de cette dernière. Le choix de ce taux va nous permettre aussi de déterminer le seuil de rentabilité de chaque groupe d'exploitation.

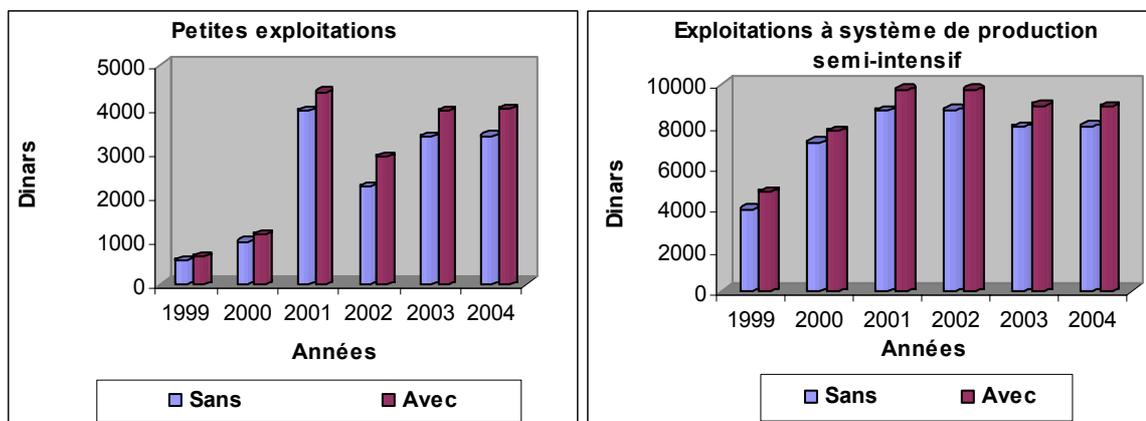
* Le tableau d'investissement suppose la réalisation de l'ensemble des investissements pendant les trois premières années de simulation et qu'il n'a ni investissements d'expansion ni de renouvellement (la durée de vie d'une banquette est estimée à 20ans). Le montant d'investissement, quant à lui, dépend du besoin de chaque exploitation en matière de conservation des eaux et du sol et donc varie suivant le nombre des hectares non aménagés dans chacune de ces exploitations.

* Le schéma de financement prétend que le financement de l'investissement provient soit d'un autofinancement ou d'un emprunt à long terme avec un taux d'intérêt faible (3%).

* La situation de référence retenue et celle obtenue par le modèle de base mais avec un taux d'actualisation zéro et non pas 7%.

Comme il apparaît dans les graphiques ci-dessous (suite des graphiques en annexes), l'introduction des nouveaux coefficients en terme de rendements, dans le modèle de référence, a conduit à une augmentation des revenus dans toutes les exploitations, mais avec des niveaux variables. Cette augmentation s'explique aussi bien par les nouveaux rendements introduits que par le changement au niveau du système de culture et de production qui l'accompagne. En effet, la non proportionnalité de l'augmentation des rendements entre les cultures, à cause des diverses variables citées précédemment, oblige le modèle à chercher la meilleure combinaison d'activités possible ce qui induit parfois un changement de l'assolement et ainsi du résultat.

Graphique.3.9 Impact économique de la technique des banquettes



Source : résultats des modèles bio-économiques

La question qui se pose ici consiste à savoir si le changement du système de production et l'augmentation des revenus sont capables de rentabiliser les coûts d'investissements de cette technique. Tel sera l'objet principal de la section suivante qui propose de calculer les deux critères d'évaluation cités auparavant (VAN, TRI).

Le calcul des deux critères d'évaluation montre que l'efficacité économique de cette technique (les banquettes) dépend fortement du choix du taux d'actualisation ainsi que de l'état de l'environnement actuel au niveau des exploitations (le pourcentage de la superficie aménagée).

L'utilisation d'un taux d'actualisation nul (hypothèse fortement défendue par les écologistes et les soucieux de l'environnement), cette technique révèle un taux de rentabilité très acceptable dans toutes les exploitations atteignant les 13% (EPU). A titre d'exemple, dans les exploitations des zones marginalisées à forte pente (EP, EMM, EPU), l'introduction de cette technique paraît très utile et s'accompagne par de bons niveaux de rentabilité qui se manifestent par un taux de rentabilité interne et une valeur actualisée nette positifs et très élevés.

Avec un taux d'actualisation de 7% (c'est le taux d'intérêt à long terme en Tunisie), cette technique s'avère efficace chez une grande majorité des exploitations et dégage ainsi un niveau de rentabilité positif, par contre à un taux de 10% (c'est le taux d'intérêt à court terme en Tunisie), seulement les exploitations des zones marginalisées seront intéressées par un tel investissement. Ce résultat qu'on peut qualifier de très intéressant peut être expliqué par le fait que les simulations ont été réalisées sur un long terme. En revanche, à court terme et d'après les résultats obtenus par le modèle biophysique, rares sont les exploitants qui seront motivés pour se lancer dans ce type de projet.

Dans les exploitations, en particulier, celles qui sont situées dans des zones de plaines, l'analyse économique révèle la nécessité d'une subvention, soit sous la forme d'aide directe ou de bonification des taux d'intérêt sur les crédits bancaires, pour motiver les agriculteurs. Cette subvention permet non seulement l'amélioration de la rentabilité, mais aussi l'incitation des exploitants à lancer des nouveaux investissements pour valoriser le capital ou le support foncier existant.

Ces taux de rentabilité peuvent atteindre des niveaux beaucoup plus importants si on comptabilise tous les avantages induits par cette technique tels que : la recharge de la nappe, la protection des barrages contre l'envasement, etc. Toutefois, il faut rappeler que cette analyse reste virtuelle et par conséquent il faut les prendre avec une certaine précaution.

Tableau.3.5 Rentabilité de la technique des banquettes

Exploitations	VAN (DT)	TRI (%)
Les petites exploitations (EP)	1292.69	12.00
Les exploitations moyennes qui se maintiennent (EMM)	1721.14	10.24
Les exploitations moyennes en expansion (EME)	2354.07	6.99
Les grandes exploitations qui se maintiennent (EGM)	5397.46	6.52
Les grands entrepreneurs (EGE)	8985.34	2.97
Les exploitations à système de production intensif (EIN)	1306.74	7.23
Les exploitations à système de production semi-intensif (ESI)	2174.35	11.42
Les sociétés de mise en valeur et de développement agricole	22824	4.67
Les exploitations publiques (EPU)	118335.28	13.48

Sources : élaboration personnelle à partir du modèle bio-économique

Conclusion

Bien qu'il n'y ait pas de solution "miracle" au problème de l'érosion du sol, les résultats de la simulation de l'efficacité de ces deux politiques (les banquettes et le cahier des charges) ne peuvent que confirmer l'hypothèse avancée par les économistes de l'environnement et qui montre que "la recherche d'une agriculture durable qui conserve les ressources naturelles, économiquement viables et

socialement acceptable constitue un exemple parfait de ce que, en économie on appelle l'optimum de Pareto et les optima de second rang " (cité par Deybe D., 1994, p. 164). En effet, trouver un mode d'intervention capable de répondre d'une manière idéale aux objectifs d'une agriculture durable reste aujourd'hui un but difficile à atteindre. Plusieurs optima de second rang s'associent ainsi avec tout problème d'environnement rendant ainsi le choix entre eux un exercice très difficile et dépendra par conséquent du décideur : certaines interventions seraient plus convenables du point de vue de la conservation de la ressource du sol, mais inacceptables du point de vue social ; d'autres seraient socialement souhaitables, mais néfastes du point de vue de l'environnement. Bien que ce ne soit pas exactement notre cas, que ce soit à cause du nombre réduit des politiques alternatives proposées ou par l'absence d'une substituabilité entre les techniques évaluées (les deux politiques proposées peuvent se compléter parfaitement puisque la première constitue plutôt une technique de gestion à court terme alors que la seconde est plutôt d'aménagement à long terme), le raisonnement reste valable : quel sera, par exemple dans le cas de l'application d'un cahier de charge, le niveau de perte en revenu qui peut être supporté par les agriculteurs pour compenser la diminution de l'érosion?

Quoique que les résultats obtenus soient discutables, l'utilisation de l'approche bio-économique peut constituer un bon exercice théorique et méthodologique pour simuler les politiques alternatives partout dans le monde et proposer, dans la mesure du possible, des solutions pouvant se situer dans la ligne des recommandations sur la gestion des ressources naturelles.

CONCLUSION GENERALE

Présenter une conclusion générale dans un travail de recherche n'est jamais aisé ni patent. Elle constitue en quelque sorte une réponse aux questions posées dans l'introduction et permet une approbation ou au contraire une infirmation des intentions initiales.

Sans avancer le bilan des différents points abordés tout au long de cette étude : taxonomie de la relation agriculture environnement, exhibition des externalités d'origine agricole, exposition des interdépendances des fonctions de productions et d'externalités, etc..., notre intention portera essentiellement sur une explication théorique de notre conviction à propos de la problématique de l'externalité d'origine agricole ainsi que sur les instruments théoriques qu'il faut mobiliser pour l'internaliser. Nous partions de la conviction que "l'agriculture peut être considérée, comme toutes autres activités économiques, une source fortement créatrice d'externalités négatives et positives qui accompagne les processus de production et delà un domaine d'application particulièrement adapté à l'analyse économique des interactions entre l'économie et l'environnement naturel". Nous nous proposons de le vérifier en cherchant, à travers un exemple empirique appliqué à l'érosion du sol, si l'hypothèse de convexité des fonctions d'externalités constitue la règle en agriculture. Il en résulte, qu'en absence de toute hypothèse restrictive, la possibilité d'un changement de convexité (ou des discontinuités) de la fonction d'externalité est très probable et fréquente. Ceci est appuyé par des simulations accomplies sur la pollution des eaux par G. Flichman (2000). Cette non-convexité implique, néanmoins, une série de problèmes : la multiplicité d'équilibre, la rapidité et la facilité du passage d'une externalité marginale négative à une autre positive, la non-motivation des agents parfois pour internaliser les externalités, etc... Des problèmes qui rendent très difficile, d'une part, l'identification de divers points optimaux de production et d'autre part l'application des instruments économiques et réglementaires habituels pour les atteindre : il y a un risque d'introduire des nouvelles distorsions. Ce qui justifie l'intérêt d'une approche mixte associant l'agronomie et l'économie dans le but d'élaborer des normes physiques contractuelles conditionnant les subventions d'un code de bonnes pratiques. Telle est notre conviction initiale *"la solution des problèmes environnementaux passe de préférence par une approche pluridisciplinaire"*.

La compréhension des relations entre les activités humaines et l'environnement naturel devrait faire appel aux sciences naturelles, à la biophysique et à la chimie et que l'économie et la politique de l'environnement pourrait intégrer les acquis de ces disciplines. L'économie a pour ambition d'apporter un éclairage spécifique mais qui ne constitue qu'une réponse partielle aux problèmes qui se posent à la société. Ceci est du moins notre jugement.

Cependant, le problème qui se pose ici consiste à savoir si, et une fois quitté le domaine théorique, ces différents principes de raisonnement et de solution sont susceptibles d'application et de justification pratique, en particulier à une échelle plus large, et s'ils peuvent exister des moyens et des méthodes concrets capables de quantifier l'interaction agriculture-environnement à laquelle correspond le concept théorique d'effet externe non convexe.

De ce point de vue, la recherche d'un outil permettant de tenir compte du caractère très complexe de certaines relations entre la production agricole et ses impacts environnementaux s'avère très utile. En effet, l'établissement des causes de la modification de l'environnement, ses symptômes, et les effets économiques sur la production sont souvent très difficiles à saisir. De même, une modification observée dans l'environnement peut avoir une ou plusieurs causes, et il est souvent difficile d'isoler l'effet de l'une des effets des autres. Cela est particulièrement vrai pour l'érosion du sol, qui découle normalement d'une multiplicité de sources.

La construction d'outils de ce point de vue requiert un travail et une collaboration pluridisciplinaire dans une démarche de construction collective. C'est dans cette optique que nous avons proposé une méthodologie novatrice aboutissant à la construction d'un modèle bio-économique basée sur le couplage d'un modèle biophysique à un modèle économique de programmation mathématique. Cette approche permettait d'une part de proposer des horizons d'adaptation et d'autre part de se libérer des contraintes des méthodes économétriques usuelles (inférence statistique, formes analytiques...).

L'application du modèle biophysique EPICPHASE consistait d'une part, à générer les fonctions de production et d'externalité en terme de rendement et d'érosion potentiels au niveau de chaque groupe d'exploitation et d'autre part, à évaluer l'effet des techniques de conservation des eaux et du sol (les banquettes) sur les rendements de cultures et ceci en fonction du type de sol, des pratiques et des techniques culturales. Introduits ensuite dans le modèle économique, ces résultats permettaient,

après validation, de décrire le mode d'adaptation qui s'offre aux agriculteurs pour faire face à des éventuelles politique régionale et d'estimer l'évolution de leurs utilités privées ainsi que les impacts environnementaux générés. La plupart des analyses de gestion du sol se sont limitées à ne considérer que les variations des facteurs exogènes comme celle des prix, sans prendre en compte les adaptations possibles en termes de structures et de stratégies pour répondre au nouveau cadre de la politique agricole. La maquette économique, dynamique et récursive, créée dans le cadre de chaque exploitation type, permettait donc d'introduire un niveau de finesse et de précision impossible à atteindre par d'autres méthodes et ceci grâce à la réinitialisation de certaines variables telles que la trésorerie, l'effectif animal et certains prix.

Les principaux résultats obtenus par l'application de cette approche concernent premièrement l'évaluation des effets économiques et environnementaux de l'introduction d'un cahier de charge basé sur l'interdiction de la jachère travaillée, l'introduction d'une légumineuse dans la rotation et le choix entre diverses alternatives de production les plus efficaces. Bien que l'impact économique de cet instrument varie fortement selon les exploitations et s'accompagne dans la majorité des groupes par une perte importante de revenu, son application pour résoudre ce problème s'avère très encourageante qui s'explique essentiellement par les niveaux de baisse de l'érosion atteignant les 53%. Ces pertes peuvent être moins élevées si le travail est à un horizon plus long.

Le deuxième résultat obtenu par cette approche concerne l'efficacité économique de la politique de conservation des eaux et du sol, particulièrement les banquettes. L'introduction de celles-ci au niveau des exploitations a induit une augmentation de revenu dans l'ensemble des exploitations avec des taux très variables. Toutefois et avec un taux d'intérêt actuel de 7%, l'augmentation des revenus n'est pas suffisante pour que tous les exploitants se lancent dans une telle politique et par conséquent une subvention s'avère très utile. L'utilisation d'un taux d'actualisation nul (zéro), hypothèse formulée par Cline et fortement défendue par les écologistes, permet à l'ensemble des exploitations de dégager un taux de rentabilité assez acceptable atteignant parfois les 13% en particulier dans les zones les plus marginalisées. Ce taux d'actualisation nul paraît, néanmoins, déraisonnable et difficilement défendable en particulier dans les pays en développement où les sources budgétaires sont déjà assez réduites et par conséquent une solution possible serait l'application d'un taux d'intérêt de 4 à 5%, hypothèse fortement défendue par les économistes de l'environnement, pour que l'ensemble des exploitations arrivent à dégager un niveau

de rentabilité acceptable. Ce résultat reste néanmoins virtuel puisque l'analyse se base sur un rapprochement des simulations à long terme.

Bien que l'application de l'approche bio-économique pour le présent travail a été très avantageuse, elle reste toutefois non exempte de limites qui pourront être dépassées dans des études ultérieures :

La première limite est liée au modèle biophysique : son application au niveau de chaque exploitation et l'agrégation ensuite des résultats à un niveau plus grand aurait pu générer des coefficients plus fins et plus précis si on aurait associé celui-ci aux systèmes d'information géographiques (SIG).

La deuxième limite spécifique au modèle économique : quoique son utilisation pour reproduire la réalité soit jugée assez acceptable, sa validation aurait pu être meilleure si elle était basée sur des méthodes plus adaptées telles que la méthode de Programmation Mathématique Positive développée par Richard Howitt (1995). De même la simulation de l'évolution future des résultats aurait pu être améliorée par l'introduction des séquences climatiques les plus fréquentes. Ceci n'a pas été fait dans notre cas, car nous jugeons que le modèle est déjà très complexe et assez compliqué (durée d'une simulation 8heures).

La troisième limite concerne l'échelle de la modélisation : bien que l'application de la modélisation bio-économique se situe à un niveau élevé de l'agrégation, elle reste inefficace quant à l'analyse des interactions entre le secteur agricole et son environnement externe amont et aval en raison de son caractère microéconomique. De même, lorsque la modification de l'environnement a un effet mesurable sur les marchés, il convient de porter un regard plus complexe sur la structure du marché, les élasticités, les réactions de la demande et le comportement des consommateurs, qui sont considérés comme des variables exogènes dans notre analyse.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDELMALKI L., MUNDLER P.**, 1997. - *Economie de l'environnement*. - Paris: HACHETTE. 160p.
- ACHOURI M.**, 1995. - La conservation des eaux et du sol en Tunisie : bilan et perspective. *Agriculture, durabilité et environnement*. Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 9, ATA - IAMZ, pp. 35-47.
- ANDERSON J. R., PORCEDDU E.**, 1995. - Agricultural economics and the environment. *Rivista di economia agraria*, n° 3-4, décembre 1995, pp 435-454.
- ANDERSON J.R., THAMPAPILLAI J.**, 1990. - *Soil conservation in developing countries, project and policy intervention*. - Washington: Word Bank. - 45 p.
- BACHTA M.S.**, 1995. - Conservation des eaux et du sol (CES) en Tunisie : intervention des pouvoirs publics et stratégies paysannes, un éclairage économique. *Agriculture, durabilité et environnement*. Cahiers Option Méditerranéennes, vol. 9, ATA - IAMZ, pp. 49-59.
- BARBIER B., BERGERON G.**, 1999. - Impact of policy interventions on land management in Honduras: results of a bioeconomic model. - *Agricultural Systems*, n°59, pp 1-16.
- BARBIER E.B.** 1998. - The Economics of Soil Erosion: Theory, Methodology and Examples. In E.B. Barbier (ed.) *The Economics of Environment and Development: Selected Essays*. Edward Elgar, Cheltenham: 281-307.
- BARDE J.PH.**, 1977. - *Economie et politique de l'environnement*. - Paris : L'économiste.
- BARDE J.PH.**, 1990. - Le développement durable: la fin et les moyens. - *L'Observateur de l'OCDE*, n° 164, juin-juillet 1990, pp. 33-37.
- BARDE J.PH.**, 1991. - *Economie et politique de l'environnement*. - Paris : L'économiste.
- BARDE J.PH.**, 1993.- Quels instruments choisir face à un problème d'environnement? - *Insee méthodes*, n°39-40, pp. 215-233. –
- BATOR F.M.**, 1958.- The anatomy of market failure . QJE.- *Journal of Economics*, Aug. Vol 72, pp 351-379.
- BEL F., LACROIX A., LE ROCH CH., MOLLARD A.**, 1995. - *Agriculture, environnement et pollution de l'eau*. - Economie et sociologie rurales. - Grenoble : INRA.
- BENETTI C.**, 1974. - *Valeur et répartition : intervention en économie politique*. - Grenoble : presses universitaires de Grenoble. - 157p.
- BERTRAND G.**, 1997. - Environnement et développement : concevoir la durabilité. - *Les cahiers d'outre-mer*, n°197, janvier-mars 1997, pp. 3-6.
- BETSCH J.M., CURY PH., WEBER J.**, 1990. - *A l'interface homme-nature: les ressources renouvelables*. CNRS Programme Environnement, Colloque Recherche et Environnement, Strasbourg, 24-25 Septembre 1990. Disponible à l'ORSTOM Paris.
- BLANCO M.**, 1995. - *Analyse des impacts socio-économiques et des effets sur l'environnement des politiques agricoles : modélisation de l'utilisation agricole des ressources en eau dans la région espagnole de Castille-Leon*.- Montpellier : CIHEAM-IAM, 171p. - (Master of Science).
- BOCKHEIM J.G.**, 1997.- *Proposal to Study Economic and Environmental Benefits of*

Reducing Soil Erosion in Albania.- Working Paper No. 9, Land Tenure Center, University of Wisconsin, Madison.

BOCKSTAEL N.E., 1996. - Modelling Economics and Ecology: The Importance of a Spatial Perspective. - *American Agricultural Economics Association*, n°78, pp 1168-1180.

BOISSON J.M., 1970. - Essai critique sur l'intégration des effets externes dans le calcul économique individuel. -Thèse de doctorat : Université de Paris : Faculté de droit et des sciences économiques. - 371p.

BOISSON J.M., 1984. - Economie, écologie, environnement : le point de vue d'un économiste. - *Economie Méridionale*, n° 125-126, 1er-2e trimestre 1984, pp. 43-52.

BOISSON J.M., 1994. - Efficacité, stabilité, équité : Une nouvelle perspective pour les revenus agricoles en Europe. - *Economie Rurale*, n° 220-221, mars-juin 1994, pp. 218-223.

BOISSON J.M., 1998.- brève note sur la modélisation. - Cours de DEA - Université Montpellier - ENSA-Montpellier.- pp 1-14

BOISSON J.M., SALLES J.M., 1996. - Analyses économique et gestion collective des problèmes d'environnement. - Cours de DEA - Université Montpellier - ENSA-Montpellier.

BONNIEUX F., DESAIGUES B., 1998. - *Economie et politiques de l'environnement.* - Paris : DALLOZ. - 327p.

BONNIEUX F., RAINELLI P., 1987. - Environnement et Ressources naturelles. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, n° 4, avril 1987.

BONNIEUX F., RAINELLI P., 1996. - Les politiques agri-environnementales : premières réflexions pour un éclairage théorique. - *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°2, pp 408-421.

BOUCHET M.H., 1993.- Le financement de l'environnement dans les pays en développement. - *Insee méthodes*, N°39-40, pp. 273-281. - Paris : INSEE.

BOUSSARD J. M., 1996. - A propos de l'évaluation contingente. - *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, n°29, décembre 1996.

BOUSSARD J.M., 1970. - *Programmation mathématique et théorie de la production agricole.* - Paris : Cujas. - 251 p.

BOUSSARD J.M., 1987. - *Economie de l'agriculture.* - Paris : Economica. - 320 p.

BOUSSARD J.M., BOUSSEMART J.Ph., FLICHTMAN 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). - Lille : CREA - Labores. - 75 p.

BOUSSARD J.M., DAUDIN J.J., 1988. - *La programmation linéaire dans les modèles de production.* - Paris : Masson.

BOUSSARD J.M., DEYBE D., FLICHTMAN G., 1996. - *Conséquences des politiques agricoles sur l'environnement : les modèles bio-économiques.* - Paris : CIRAD-URPA. - 6p. (Notes et documents n°56).

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 p.

BOUZAHER A., 1993. - *Agricultural Policies and Soil Degradation in Western Canada: An Agro-Ecological Economic Assessment.* - Canada: CARD. 45p.

BOWERS J., 1997. - *Sustainability and Environmental Economic: An alternative Text.* - London: Longman. - 236p.

BOYER R., CHAVANCE B., GODARD O., 1991. - *Les figures de l'irréversibilité en*

économie. - Paris : éditions de l'EHESS.

BUREAU D., 1993. - Instruments économiques et financement des politiques d'environnements. - *Insee méthodes*, n°39-40, pp. 15-22.

BURGENMEIER B., 1994. - *La socio-économie*. - Paris : Economica. - 110p.

CABELGUENNE M., DEBAEKE PH., 1995. - *Manuel d'utilisation du modèle EWQTPR (EPIC-PHASE temps réel)*. - Toulouse : INRA.

CHARNES A., COOPER WW. 1959. - Chance constrained programming. - *Management sciences*, n°6, pp. 73-79.

CLARCK C.W., 1990.- *Mathematical bioeconomics : the optimal management of renewable resources*.- New York : John Wiley & Sons. 352 p.

CLARK E.H., HAVERKAMP J.A., CHAPMAN W., 1985. -*Eroding Soils: The Off-Farm Impacts*.- Washington, DC: The Conservation Foundation.

COMELIAU Ch., 1994. - Développement du développement durable, ou blocages conceptuels? - *Revue tiers-monde*, n°137, Janvier-Mars 1994, pp. 77-94. -

COSTANZA R., CUMBERLAND J., DALY H., GOODLAND R., NORGAARD R., 1997. - *An introduction to Ecological Economics*. - Florida Tallahassee: ISEE. 243p.

DAY H.R., 1961. - *Recursive Programming and Production Response*. - Amsterdam.

DAY H.R., SPARLINGE E., 1992. - Optimisation models in agricultural and resource economics. - *Survey of agricultural economic literature*, vol n°2.

DELACHE X., 1992. - Les instruments des politiques d'environnement. - *Economie et Statistique*, oct-novembre 1992.

DESAIGUES B., POINT P., 1993. - *Economie du patrimoine naturel : la valorisation des bénéfiques de protection de l'environnement*. - Paris : Economica. - 305p.

DESALGUES B., POINT P., 1990.- L'économie du patrimoine naturel : quelques développements récents. - *Revue économie politique* 100^{ème} année, n°6, nov-décembre 1990, pp. 707-785.

DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PROGRES ., 1997. - Economie politique des ressources naturelles: propositions critiques,- *Economie Et Société*, tome XXXI, n°4, avril 1997

DEYBE D., 1989. - *Politique agricole et érosion des sols en Argentine: une méthodologie pour leur analyse*. - Montpellier : CIHEAM- IAM, avril 1989. - (Master of Science).

DEYBE D., 1993. - *Vers une agriculture durable: un modèle bio-économique*. - Paris : CIRAD. - 193p.

DEYBE D., OUEDRAOGO S., 1994. - *Les ressources communes et la fertilité une analyse à partir du comportement des acteurs : le cas d'un village du Burkina Faso*. - Paris : CIRAD- URPA. - 11p. (Notes et documents n°50).

DEYBE D., OUEDRAOGO S., GERARD F., 1993. - *Agriculture durable, modèle dynamique et récursif*. - Washington : Washington State University. - 19 p.

DEYBE D., OUEDRAOGO S., GERARD F., 1993. - Agriculture durable : analyse à l'aide d'un modèle dynamique et récursif. - *Agricultural economics staff paper A.E.* 93-10, novembre 1993.

DEYBE D., ROBBILIARD A.S., 1996. - *MATA: an integrated micro, meso and macro-economic model for decision making in agriculture. Some applications for Burkina Faso*. -Paris : CIRAD - URPA. - 10p. (Notes et documents n°57)

DEYBE D., ROBILLIARD A.S., 1995. - *Disponibilité alimentaire et politiques en Afrique subsaharienne : présentation du modèle*. - Paris : CIRAD - URPA. - 13p. (Notes et documents n°24).

ECONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU PATRIMOINE NATUREL, 1990.- *Revue Economique*,. - n°41 (2).

- ECONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT.**, 1996. - *Cahiers d'économie et sociologie rurales*-, n°39-40, 2^{ème} et 3^{ème} trimestre 1996.
- ELLIS F.**, 1994. - *Peasant economics: farms households and agrarian development*. Cambridge : Cambridge university press. - 309p.
- ELLOUMI M., GARA M.**, 1991.- Pour une approche régionale du développement agricole : céréaliculture et dynamique des systèmes agraires en Tunisie.- *Annales de l'INRAT*, Vol 64, Numéro spécial ISSN 0365-4761. Tunis : Arabesques.
- ELYAKIME B., BRUNO J.F.**, 2000. - Gestion de la lutte contre une érosion de versant avec dégâts sur site public. - *Economie Rurale*, n° 257, mai-juin 2000, pp. 67-78.
- ENVIRONNEMENT ET RESSOURCES NATURELLES.**, 1996. - *Cahiers d'économie et sociologie rurale* - , n°4, avril 1987.
- FABER M., MANSTETTEN R., PROOPS J.**, 1996. - *Ecological economics: concepts and methods*. - Hartnolls Limited, Bodmin, Cornwall. - 342p.
- FALQUE M., MILLIERE G.**, 1992. - *Ecologie et liberté : une autre approche de l'environnement*. - Paris : litec. - 376p.
- FAO/PNUD.**, 1991. - *Rapport d'évaluation sur les techniques de CES en Tunisie*. - Tunis, décembre. Tunisie : Ministère de l'Agriculture : Direction de la conservation des eaux et du sol.
- FAUCHEUX S., NOEL J.F.**, 1990. - *Les menaces globales sur l'environnement*. Paris : La Découverte. - 123p. (Collection repère).
- FAUCHEUX S., NOEL J.F.**, 1995. - *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*. - Paris : Amand Colin.
- FAUCHEUX S., PEARCE D., PROOP J.**, 1996. - *Models of Sustainable Development*. - US: Edward Elgar. 363p.
- FLICHMAN G.**, 1995. - *L'apport des modèles bio-économiques à l'analyse des politiques agricoles*. - Montpellier, mars 1995. - (note de cours disponible à la bibliothèque de l'IAM).
- FLICHMAN G.**, 1997. - *Politiques agricoles, choix techniques, environnement: une approche par le couplage de modèles biophysiques et économiques*. - Thèse doctorat, Université Montpellier I : Faculté des sciences économiques. -
- FOX G., DICKSON E.**, 1990.- The Economics of Erosion and Sediment Control in Southwestern Ontario.-*Canadian Journal of Agricultural Economics* 38(1):23-44.
- FRANCE**, MINISTERE DE L'AGRICULTURE. DIRECTION DES AFFAIRES FINANCIERES ET ECONOMIQUES. BUREAU DE L'EVALUATION ET DE LA PROSPECTIVE. 1988 *Nouvelle économie des ressources et gestion patrimoniale*. - 46p.
- FREUND R.J.** 1956. - The introduction of risk into a programming model. - *Econometrica*, n°21, pp. 253-263.
- FROGER G.**, 1997.- Eléments pour une théorie institutionnaliste des ressources naturelles et de l'environnement.- *Economies et Sociétés*, série Développement. Croissance et progrès . F n°35, 4. P. 147-169.
- GEORGESCU-ROEGEN N.**, 1995. - *La décroissance : entropie - écologie - économie*. - Paris : Sang de la terre. - 254p.
- GERARD F., BOUSSARD J.M., DEYBE D.**, 1994. - *MATA: Prototype of multilevel analysis tool*. -. Paris : CIRAD - URPA. - 10p. (Notes et documents n°24).
- GODARD D.**, 1992. - La science économique face à l'environnement. - In: JOLIVET M *les passeurs de frontières*, Paris : CNRS.pp. 195-222.
- GODARD O.**, 1994. - Le développement durable : paysage intellectuel. - *Natures-Sciences-Sociétés*, n°2, pp 129-141.

- GOETZ R. U.**, 1997. - Diversification in Agricultural Production: A dynamic Model of Optimal Cropping to Manage Soil Erosion. - *American Agricultural Economics Association*, n° 79, 5/1997, pp 341-356.
- GRIFFON M.**, 1991. - *Dossier économie de l'environnement*. - Paris : CIRAD - URPA. 34p. (Notes et documents n°14).
- GRIFFON M.**, 1991. - *L'économie de l'environnement*. - Paris : CIRAD - URPA. 13P. (Notes et documents n°17).
- GRIFFON M.**, 1992. - Economie institutionnelle et gestion des ressources naturelles renouvelables. - *Economie Rurale*, n° 208-209, mars-juin 1992, pp. 70-74.
- GRIFFON M., MICHAILLOF S.**, 1992. - *Comment faciliter une gestion durable des ressources naturelles renouvelables?*. - Paris : CIRAD - URPA. - 5p. (Notes et documents n°36).
- HARRIBEY J.M.**, 1998. - Le développement soutenable. - Paris : Economica. 111p.
- HENRY C.**, 1993. - Le principe pollueur-payeur, vingt ans après. - *Insee méthodes*, n°39-40, pp. 7-14.
- HOUDAYER R.**, 1993. - *Evaluation financière des projets*. - Paris : Economica. - 262p.
- HOWITT R.**, 1995. - Positive Mathematical Programming.- *Am.J.Agr.Econ.* n° 77, pp. 329-342.
- JOLLIVET M.**, 1992. - Agriculture et Environnement: réflexions sociologiques. - *Economie Rurale*, mars-juin 1992.
- KEMPF H.**, 1994. - *L'économie à l'épreuve de l'écologie*. - Paris : Hatier. - 79p.
- KENIGSWALD L.**, 1992. - Environnement et Croissance: un faux dilemme pour les pays en développement. - *Economie et statistique*, oct-novembre 1992.
- KULA E.**, 1994. - *Economics of Natural Resources, the Environment and Policies*. - London : Chapman et Hall. 376p.
- LARRERE R., VERMERSCH D.**, 2000. - Agriculture et environnement. L'économie rurale revisitée. - *Economie Rurale*, n° 255-256, janvier-avril 2000, pp. 104-114.
- LATOUCHE S.**, 1994. - Développement durable, un concept alibi. - *Revue tiers-monde*, n°137, Janvier-Mars 1994, pp. 77-94.
- LE MOIGNE G., BARGHOUTI S.**, 1991. - L'irrigation et le défi écologique : une bonne gestion de l'eau peut protéger l'environnement. - *Finances et développement*, mars 1991.
- LECLECH B.**, 1998. - *Environnement et agriculture*. - Paris. Références
- LEFEBYRE A.**, 1994. - *Modélisation économique de l'exploitation polyculture-élevage*. - Programme Agriculture Demain (n° 92G0364). - Lille : CREA -Labores. - 75 p.1994.
- LESOURD J.B.**, 1994. - *Economie et gestion de l'environnement*. - Paris : librairie DROZ. - 196p.
- LOSEBY M.**, 1991. - *The environment and the management of agricultural resources*. -Roma: Agrifutura Editrice Snc. 307p.
- LOUHICHI K.**, 1997. - Utilisation d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales : le cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. - Collection Thèse "Master of Science", n°39, 1997. - 130p
- LOUHICHI K.**, 1999. - Un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques de conservation des eaux et du sol : le cas d'une exploitation agricole tunisienne.- *Economie rurale*, n°252 Juillet-Aout 1999.
- MARKANDYA A.**, 1994. -*Policies for sustainable development*. - Rome: FAO. - 268p.
- MARTINEZ-ALIER J.**, 1993. - *Ecological economics: energy, environment and*

society. - Athenaeum Press Ltd, Newcastle upon Tyne. - 287p.

MARX, 1987 - *Le capital, Livre Premier*, 3vol. - Paris : Edition Sociales.

MEASNICOV M., 1992. - *La lutte contre l'érosion sur les terrains agricoles*. - Option méditerranéennes, n° 25, 1992, pp. 70-73.

MICHALLAND B., 1995. - Approche économique de la gestion de la ressource en eau pour l'usage d'irrigation. - Thèse doctorat, 445p. Montpellier : CEMAGREF – ENSAM.

MONTGOLFIER J DE., NATALI J.M., 1987. - *Le patrimoine du futur : approches pour une gestion patrimoniale des ressources naturelles*. - Paris : Economica. - 250p.

MONTGOLFIER J., 1992. - Agriculture et environnement: offres et demandes. - *Economie Rurale*, mars-juin 1992.

MONTGOLFIER J., NATALI J.M., 1987. - *Le patrimoine du futur: approches pour une gestion patrimoniale des ressources naturelles*. - Paris : Economica.

MUGHAL A.D., 1992. - Letters to the Editor. - *Journal of sustainable Agriculture* 2, p 6-7.

MUNASINGHE M., LUTZ E., 1991. - La comptabilisation de l'environnement : une amélioration des comptes nationaux pourrait contribuer à un développement plus soutenable. - *Finances et développement*, mars 1991.

MUZONDO T.R., MIRANDA K., 1991. - Les gouvernements ne sauraient négliger l'impact éventuel de leur politique d'environnement sur les grands équilibres économiques. - *Finances et développement*, mars 1991.

OCDE., 1989. - *Ressources naturelles renouvelables: incitations économiques pour une meilleure gestion*. - Paris : OCDE.

OCDE., 1992. - *Evaluation des projets et politiques: intégrer l'économie et l'environnement*. - Paris : OCDE.

OCDE., 1993. - *L'intégration des politiques de l'agriculture et de l'environnement: progrès récents et nouvelles orientations*. - Paris : OCDE.

OLIVIER G., OLIVIER B., 1992.- Economie, croissance et environnement de nouvelles stratégies pour une nouvelle relation. - *Revue économique*, hors série, pp. 143-176.

ORIADE C. A., DILLON C. R., 1997. - Developments in biophysical and bioeconomic simulation of agricultural systems: a review. - *Agricultural Economics*, n°17, pp 45-58.

PAGOULATOS A., DEBERTIN D.L., SJARKOWI F., 1989.- Soil Erosion, Intertemporal Profit, and the Soil Conservation Decision.- *Southern Journal of Agricultural Economics* 21(32): 55-62.

PANNKUK C.D., STOCKLE C.O., PAPENDICK R.I., 1998. - Evaluating CropSyst Simulations of Wheat Management in a Wheat-Fallow Region of the US Pacific Northwest. - *Agricultural System*, vol 57, n°2, pp 121-134.

PASSET R., 1991. - Les approches économiques de l'environnement. - *Cahiers français*, n°250, mars-avril 1991, pp. 45-55.

PASSET R., 1996. - *L'économie et le vivant*. - Paris : Economica. - 291p.

PATERSON R.G., 1993.- Costs and Benefits of Urban Erosion and Sediment Control: The North Carolina Experience.- *Environmental Management* 17(2): 167-178.

PEARCE D. W., WARFORD J.J., 1993. - *World without end: economics, environment, and sustainable development*. - World Bank, Oxford: Oxford University Press. New York - 440p.

PEARCE D., 1992. - Economie et environnement: vers un développement durable. - *Problèmes économiques*, 3 juin 1992.

PEARCE D., TURNER R.K., - *Economics of Natural Resources and the*

Environment. - Harvester Wheatsheaf : Hemel Hempstead, Herst.

PERCEBOIS J., 1991. - *Economie des finances publiques*. - Paris : Armand Colin.

PILLET G., 1989. - *Economie écologique: introduction à l'économie de l'environnement et des ressources naturelles*. - Paris : Gerog éditeur.

PILLET G., 1993. - *Economie écologique : introduction à l'économie de l'environnement et des ressources naturelles*. Genève : Georg éditeur SA. - 223p.

PIMENTEL D., HARVEY C., BLAIR R., 1995.- Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits.- *Science* 267(5201): 1117+.

POINT P., 1991. - Typologie des ressources. - *Cahiers français*, n° 250, mars-avril 1991, pp. 40-41.

POINT P., 1992. - Les services rendus par le patrimoine naturel : une évaluation fondée sur des principes économiques. - *Economie et statistique*, n°258- 259, pp. 11-18.

POINT P., 1992. - Les services rendus par le patrimoine naturel: une évaluation fondée sur des principes économiques. - *Economie et Statistique*, oct-novembre 1992.

POINT P., 1993. - Quelle valeur économique de la demande sociale pour l'environnement? - *Insee méthodes*, n°39-40, pp. 59-73.

QUELLE ECONOMIE POUR L'ENVIRONNEMENT ?1995. - *Economie appliquée*, - Tome XLVIII, n°2, 333p.

QUERINI G., 1996. - *Ressources naturelles, environnement et croissance industrielle*. Ed. publisud. - 294p.

QUESNAY F., 1991.- «Maximes générales du gouvernement économique d'un royaume agricole» in QUESNAY F., *Physiocratie*. Paris: GF-Flammarion.

RAE A., 1971. - Stochastic programming utility and sequential decision problems in farm management. - *American Journal of Agricultural Economics*, n°53, pp. 448-460.

RAINELLI P., 1993. - Agriculture et environnement. - *Insee méthode*, n°39-40, pp. 201-211.

RAINELLI P., 1997. - Une approche économique des problèmes de pollution des sols. - *Chambres d'agriculture*, supplément au n°856, juin 1997, pp 40-44.

RIBIERT V., 1992. - *Modélisation des comportements agricoles*. - Paris : CIRAD - URPA. 33p. - (Notes et documents n°38).

RICARDO D., 1992- *Des principes de l'économie politique de l'impôt*. - Paris : GF-Flammarion.

ROLF-ULRICH S., 1995. - Croissance économique et protection de l'environnement: Les thèses en présence. - *Problèmes économiques*, n° 2.407, 18 janvier 1995, pp. 8-11.

ROMERO C., REHMANT T., 1989. - *Multiple criteria analysis for agricultural decisions*. - Amsterdam: Elsevier Amsterdam.

ROSSI G., 1997. - Notre érosion et celle des autres. - *Les cahiers d'outre-mer*, n°197, janvier-mars 1997, pp. 57-68.

ROTILLON G., DECAESTECKER P., 1993. - Regards sur l'économie de l'environnement; - *Economie prospective internationale*, n°53, 1^{er} trimestre 1993.

ROY A., 1952. - Safety first and the holding of assets. - *Econometrica*, n°20, pp. 431-449.

ROY B., 1985. - *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. - Paris : Economica. - 450 p.

SADOULET E., DE JANVRY A., 1995. - *Quantitative Development Policy Analysis*. - London : Baltimore, Johns Hopkins, 397 p.

SALLES J. M., 1997. - Le développement durable : origines, définitions et

perspectives de politiques. - *Revue de l'Economie Méridionale*, vol 46, n°179, 3/1997, pp 341-355.

SALLES J.M., 1997. - Les limites de l'économie de l'environnement. - *Courrier de la planète*, n°40, mai-juin 1997, pp.29-33.

SANTOS B.A., 1992. - *Cost Benefit Analysis of Soil Erosion Control: The Case of Plan Sierra*. Dissertation, University of California at Berkeley.-

SCHMIDT Ch., - Les néoclassiques : les théories de la décision et la théorie économique. - *Cahiers Français*, n°280, pp. 49-58.

SERAGELDIN I., 1993. - Pour un développement durable. - *Finances et Développement*, Décembre 1993, pp. 6-19.

SGHAIER M., 1995.- *Tarifification et allocation optimale de l'eau d'irrigation dans les systèmes de production de la région oasienne de Nefzaoua (Sud de la Tunisie)*. Thèse doctorale, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste biologische Wetenschappen, Belgique, 235p.

SIBIEUDE CH., SIBIEUDE TH., 1993. - *Les rouages économiques de l'environnement*. - Paris : ed. l'Atelier.

SIMOS J., 1989. - *Evaluer l'impact sur l'environnement "Une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation"*. - (Thèse doctorale). Université de Lausanne

SOLOW R.M., 1974. - The Economics of Ressources or the Ressources of Economics. *American Economic Review*, 64, Papers and Proceedings (2), 1-14.

SOTTE F., 1996. - *The Regional Dimension in Agricultural Economics and policies*. - Quatrième séminaire de l'Association européenne des économistes agricoles. - Ancone (Italie) : università di Ancona, CNR-RAISE, 1996, 796p.

TAUER L.W., 1983. - Target MOTAD. - *American Journal of Agricultural Economics*, n°65, pp. 605-610.

TCHAWA P., 1997. - Evolution des techniques traditionnelles de gestion des sols et développement durable : enseignement tirés de l'étude de deux terroirs bamiléké (ouest-Cameroun). - *Les cahiers d'outre-mer*, n°197, janvier-mars 1997.

THEYS J., 1993. - Environnement et économie : quels axes pour la recherche dans les années à venir? - *Insee méthodes*, n°39-40, pp. 37-46.

THIEBAUT L., 1994. - Sols agricoles et environnement : une rencontre à ménager. - *Natures-Sciences-Sociétés*, n°2, pp 129-141.

TIETENBERG T.H., 1994. - *Economics and environmental policy*. England: Wallace E.oates. - 390p.

TIETENBERG T.H., 1994. - *Environmental Economics and Policy*. New York: Harper Collins College Publishers. - 432p.

TUNISIE., Ministère de l'agriculture. - Direction générale de la planification, du développement et des investissements agricoles (DGPDI). - *Amélioration de la sécurité alimentaire par le renforcement de la productivité durable dans les zones fragiles des PVD*. - Tunis: DGPDI, 1993.

TUNISIE., Ministère de l'agriculture. - Direction nationale de conservation des eaux et du sol (CES). - *Stratégie nationale de la conservation des eaux et du sol (1990-2000)*. - Tunis : D/CES, 1993.

TUNISIE., Ministère de l'agriculture. - Direction nationale de conservation des eaux et du sol (CES). - *Projets de conservation des eaux et du sol en Tunisie*. - Tunis : D/CES, 1993.

TUNISIE., Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire (MEAT). Rapport National: *L'état de l'environnement*. - Tunis : MEAT, 1993. - 138 p.

VERMERSCH D., 1992.- Internalisation efficiente et agriculture durable. *Economie Rurale*, 208-209: 144-148.

- VERMERSCH D.**, 1996. - Externalités et politique agricole commune : une approche coasienne. *Cahiers d'économie et de sociologie rurales*, n°38, pp. 80-103.
- VICIEN C.**, 1989. - *Les modèles de simulation comme outil pour la construction de fonction de production: une application à la mesure de l'efficacité de la production agricole.* - Montpellier : CIHEAM - Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier: (Thèses et Masters) 133 p.
- VICIEN C.**, 1991. - Les modèles de simulation comme fonctions de production. - *Economie Rurale*, n° 204, pp. 46-50.
- VICTOR P.**, 1991.- Indicators of sustainable development : some lessons from capita theory.- *Ecological Economics*, (4) p 191- 213
- VIVIEN F.D.**, 1994. - *Economie et écologie.* - Paris : La découverte. - 112p. Repères.
- WALRAS L.**, 1874. - *Eléments d'économie politique pure ou la théorie de la richesse sociale*, 4 éd., 1900, rééd. LGDJ. - Paris, 1952.
- WEBER J.**, 1993. - *Economie des ressources renouvelables et de l'environnement.* - n°45. – Paris : CIRAD - URPA. - 11p. (Notes et documents).
- WILLIAM J.B., WALLANCE E.O.**, 1994. - *The theory of environmental policy.* - Second edition Cambridge University press, Cambridge. - 295p.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT**, 1987. - *Our common future.* - Oxford: Oxford University Press, New York, 400p.
- YOUNG R. A.**, 1993. - L'analyse économique de l'eau. - *L'analyse coûts-avantages : défis et controverses.* - Paris : ed. Economica. (Gestion, série : Politique générale, finance et Marketing).
- ZANDER P., KACHELE H.**, 1999. - Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. - *Agricultural Systems*, n°59, pp 311-325.
- ZEKRI S., DRIDI N., LARA P.**, 1994. - Intégration de l'élevage dans les petites exploitations irriguées : une approche multicritère en deux étapes. - *Medit*, (Italie) P 36-41.

ANNEXES

ANNEXE 1 MODELE DE BASE : PROGRAMMATION LANGAGE GAMS

****-----MULTIPERIODIQUE-RECURSIF-----**

--**

```
$OFFSYMLIST
$OFFSYMREF
OPTION SOLPRINT=OFF
OPTION LIMROW=0
OPTION LIMCOL=0
OPTION ITERLIM=50000
```

****-----OPTION SETS-----**

--**

```
SETS
C cultures /BLED,BLET,ORGE,MEDICA,OLIVE,AMANDE,JACH,ORGEV,AVOINE,
POTERRE,TOMATE,PARCOURS,PASTEQ/
Cc(c) Grandes cultures
/BLED,BLET,ORGE,Avoine/
cfr(c) cultures fourrageres
/orgev,avoine/
cus(c) cultures en sec
/BLED,BLET,ORGE,MEDICA,OLIVE,AMANDE,JACH,ORGEV,AVOINE,PARCOURS/
cui(c) cultures maraichere en irriguee
/PASTEQ,POTERRE,TOMATE/
Arb(c) arboricultures
/OLIVE,AMANDE/
S produits vegetaux stockables
/GRAIN,PAILLE,FOIN,ENSIL,FRUIT,DVC/
Ss(s) produits vegetaux fourrageres
/PAILLE,FOIN,ENSIL/
Sc(s) produits vegetaux de consommation
/GRAIN,FRUIT/
pav(c,s) produit vegetal final a consommer
/bled.grain,blet.grain,orge.grain,
olive.fruit,amande.fruit,POTERRE.FRUIT,TOMATE.FRUIT,PASTEQ.FRUIT/
pcs(c,s)
/BLED.grain,BLET.grain,ORGE.grain,BLED.paille,BLET.paille,ORGE.paille,
AVOINE.Foin,ORGEV.ENSIL,MEDICA.DVC,OLIVE.Fruit,AMANDE.fruit,JACH.DVC,
PARCOURS.DVC,PASTEQ.FRUIT,POTERRE.FRUIT,TOMATE.FRUIT/
EX les groupes dexploitations
/EP,EMM,EME,EGM,EGE,EIN,ESI,EPU,SMVDA/
*EP : les petites exploitations
*EMM : les exploitants moyen qui se maintiennent
*EME : les exploitants moyen en expansion
*EGM : les grandes exploitations qui se maintiennent
*EGE : les grandes entrepreneurs
*EIN : les exploitations conduites en intensif
*ESI : les exploitations conduites en semi-intensif
*EPU : les exploitation publique
*SMVDA :les societe de mise en valeur et de developpement agricole

SECT Secteur dexploitation
/SPR,SPU/
pex(ex,sect)/EP.SPR,EMM.SPR,EME.SPR,EGM.SPR,EGE.SPR,EPU.SPR,EPU.SPU,SMVDA.
SPU/

EXES(EX) les groupes dexploitations en sec
/EP,EMM,EME,EGM,EGE,EPU/
EXEI(EX) les groupe dexploitations en irriguee
/EIN,ESI,SMVDA/
ENI(EX) les exploitations non inclus dans le transfert de terre
```

/EIN,ESI,EP/
PUBEX(ex) les exploitations du secteur publique
/SMVDA, EPU/
PRIEX(ex) les exploitations du secteur prive
/EP,EMM,EME,EGM,EGE,EIN,ESI/
SO les sols /SO1*SO4/

psex(EX,SO)/EP.SO4,EMM.SO4,EME.SO3,EGM.SO2,EGE.SO1,EIN.SO2,ESI.SO4,EPU.SO3,
SMVDA.SO1/

ALC /CES,BEQ/
TCES les techniques de CES /CONSTOUVR,CONSOUVR,ENTROUVR,ENTRLAC,BANDHER/

T techniques /T1*T6/
* T1: labour minimale
* T2: labour minimale avec fertilisation
* T3: labour profond avec fertilisation
* T4: labour profond avec fertilisation et avec irrigation
* T5: technique réelle en sec
* T6: technique réelle en irriguée
T25(T)/T2,T3,T5/
T15(T)/T1,T2,T3,T5/
T46(T)/T4,T6/
T14(T)/T1,T2,T3,T4/

TSM /TSOL,MOISSON/
*TSOL : travail du sol
*MOISSON

N situations climatiques/N1*N3/
* N1: année bonne
* N2: année moyenne
* N3: année mauvaise

AC année civile /1999*2004/

PI différentes scénarios de prix /PI1*PI3/

P période /p1*p3/
* P1: 1 janv-30 avril
* P2: 1 mai-30 août
* P3: 1 sept-30 décembre
P12(P) /p1,p2/
P31(P) /p3,p1/
P23(P) /p2,p3/
P1(P) /p1/
P2(P) /p2/
P3(P) /p3/

A année de l'horizon de planification /A1*A3/
A1(A) /A1/
A2(A) /A2/
A3(A) /A3/
A12(A) /A1,A2/
A23(A) /A2,A3/

An catégories d'animaux /BRE,AGNE,AGNL,ANTSE1,ANTS1,ANTSE2,ANTS2,BEL,VACH,
VEAU,VELLE,GEN1,GEN2,BOUF1,BOUF2,TAUR/
OV(An) /BRE,AGNE,AGNL,ANTSE1,ANTS1,ANTSE2,ANTS2,BEL/
BOV(An) /VACH,VEAU,VELLE,GEN1,GEN2,BOUF1,BOUF2,TAUR/
BREBIS(An) /BRE/
ANTNSE1(An) /ANTSE1/
ANTNS1(An) /ANTS1/
ANTNSE2(An) /ANTSE2/
ANTNS2(An) /ANTS2/

VACHE (An) /VACH/
 VEAUX (An) /VEAU/
 VELLES (An) /VELLE/
 GENIS1 (An) /GEN1/
 GENIS2 (An) /GEN2/
 BOUFS1 (An) /BOUF1/
 BOUFS2 (An) /BOUF2/
 TAURI (An) /TAUR/
 AGNEA (An) /AGNE/
 AGNL (An) /AGNL/
 BELIER (An) /BEL/

UZ Unite Zootechnique ou unite femelle /OVINE,BOVINE/
 UZO (UZ) /OVINE/
 UZB (UZ) /BOVINE/

M Produits animaux
 /VIAD, LAIT/
 VI (M) /VIAD/
 L (M) /LAIT/

pan(uz,m) produit animal a consommer /bovine.lait,bovine.viad,ovine.viad/
 uff(an,uz) unite femelle /vach.bovine,bre.ovine/
 UFE(an,uz)
 /BRE.OVINE,AGNE.OVINE,AGNL.OVINE,ANTSE1.OVINE,ANTS1.OVINE,ANTSE2.OVINE,
 ANTS2.OVINE,BEL.OVINE,VACH.BOVINE,VEAU.BOVINE,VELLE.BOVINE,GEN1.BOVINE,GEN2
 .BOVINE,BOUF1.BOVINE,BOUF2.BOVINE,TAUR.BOVINE/
 *Antnsel:antennaise age de 12 a 24 mois
 *Antns1:antennais age de 12 a 24 mois
 *Antns2:antennaise age de 24 a 36 mois
 *Antns2:antennais age de 24 a 36 mois
 *GEN1:genisses de 12 a 24 mois
 *GEN2:genisses de 12 a 24 mois
 *BOUF1:boeufs de 24 a 36 mois
 *BOUF2:boeufs de 24 a 36 mois

ALIAS (c,pc)
 ;
 Set MP(c,t,pc)
 /BLED. (T1*T6) . (BLET, ORGE, JACH, AVOINE, ORGEV, MEDICA) ,
 BLET. (T1*T6) . (BLED, ORGE, JACH, AVOINE, ORGEV, MEDICA) ,
 ORGE. (T1*T6) . (BLED, BLET, JACH, AVOINE, MEDICA) ,
 ORGEV. (T1*T6) . (BLED, BLET, JACH, AVOINE, MEDICA) ,
 AVOINE. (T1*T6) . (BLED, BLET, JACH, ORGE, ORGEV, MEDICA) ,
 JACH. (T1*T6) . (BLED, BLET, ORGE, AVOINE, ORGEV, MEDICA) ,
 MEDICA. (T1*T6) . (BLED, BLET, ORGE, AVOINE, ORGEV, MEDICA) ,
 OLIVE. (T5) . (OLIVE) ,
 AMANDE. (T5) . (AMANDE) ,
 PARCOURS. (T5) . (PARCOURS) ,
 PASTEQ. (T4, T6) . (PASTEQ, POTERRE, TOMATE) ,
 POTERRE. (T4, T6) . (PASTEQ, POTERRE, TOMATE) ,
 TOMATE. (T4, T6) . (PASTEQ, POTERRE, TOMATE) ,
 ;

****-----DONNEES GENERALES-----****

--**

SCALARS

TIC taux interet a CT /0.10/
 TA taux d'actualisation /0.07/
 TP taux de placement /0.05/
 CUPi charges unitaires par mo permanent par periode /720/
 NTEPR Nombres totales des exploitations (publique et prive)/11581/
 PLTi prix de location de terre /85/
 PLMOi prix de location de la main d'oeuvre /6/;

PARAMETER TIL(ALC) taux interet a LT
/CES 0.00,BEQ 0.07/

PARAMETER AM(ALC) taux damortissement annuel
/CES 0.04,BEQ 0.1/

PARAMETER POIEX(ex) poids des groupes d'exploitations du chaque secteur
/EP 0.6633,EMM 0.0645,EME 0.0745,EGM 0.0223,EGE 0.007,EIN 0.0943,ESI
0.0670,EPU 0.00014,SMVDA 0.0069/;

PARAMETER PONDE(ex);
PONDE(ex)=POIEX(ex)*NTEPR;
DISPLAY PONDE;

PARAMETER CAR(EX) coefficient aversion au risque par groupe d'exploitation
/EP 0.7,EMM 0.8,EME 0.65,EGM 0.36,EGE 0.15,EIN 0.55,ESI 0.57,EPU 0.15,SMVDA
0.25/;

PARAMETER TRESi(EX,p,AC) tresorerie initiale
/EP.p1.1999 1500
EMM.p1.1999 5000
EME.p1.1999 7000
EGM.p1.1999 25000
EGE.p1.1999 108000
EIN.p1.1999 8000
ESI.p1.1999 6000
EPU.p1.1999 47600
SMVDA.p1.1999 62000/;

PARAMETER TRESihp(ex,A)
/EP.A1 0,EMM.A1 0,EME.A1 0,EGM.A1 0,EGE.A1 0,EIN.A1 0,ESI.A1 0,EPU.A1
0,SMVDA.A1 0/;

PARAMETER NMP(EX,p) nombres de mains d'ouvres permanents disponible par
groupe d'exploitation
/EP.p1*p3 1
EMM.p1*p3 2
EME.p1*p3 3
EGM.p1*p3 5
EGE.p1*p3 10
EIN.p1*p3 1
ESI.p1*p3 1
EPU.p1*p3 10
SMVDA.p1*p3 26/;

PARAMETER DEI(EX,p) disponibilite en eau d'irrigation
/EIN.p1*p3 40000
ESI.p1*p3 20000
SMVDA.p1*p3 150000/;

TABLE REVE(EX,p,A) revenu exterieur moyen en dinars par periode
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\rev.kam

Table PRELEV(EX,p,A) prelevement familial moyen en dinars par periode
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\prel.kam

TABLE MAXCCT(c,t)
*Montant d'emprunt maximale a CT par c, par t et par hectare
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\maxc.kam

TABLE MAXCCTD(c,t)
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\maxc.kam

PARAMETER TACT(AC) facteur d'actualisation ;
TACT(AC)=1/(1+ta)**(ORD(AC)-1);

Display TACT;

TABLE CFi(EX,AC) les couts fixes annuels (amortissement du materiel et assurance)

\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\cfi.kam

PARAMETER PLMi(TSM) prix de location de materiel par heure
/TSOL 12,MOISSON 45/;

PARAMETER PLMti(TSM,AC);
PLMti(TSM,AC)=PLMi(TSM)*TACT(AC);

PARAMETER PLMoi(AC);
PLMoi(AC)=PLMti(TSM,AC)/TACT(AC);

PARAMETER PLTti(AC);
PLTti(AC)=PLTti(TSM,AC)/TACT(AC);

PARAMETER CFti(EX,AC);
CFti(EX,AC)=CFi(EX,AC)*TACT(AC);

PARAMETER CFTi(EX,AC);
CFTi(EX,AC)=CFti(EX,AC)/TACT(AC);

PARAMETER CUPTi(AC);
CUPTi(AC)=CUPTi(TSM,AC)/TACT(AC);

Table HDM(ex,p) jours disponible par periode et par groupe dexploitation

\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\hdm.kam

Table HDT(ex,p,TSM) heure traction disponible par periode

\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\hdt.kam

****-----DONNEES SUR LA COMPOSANTE C.E.S.-----**
--**

PARAMETER COUCESi(TCES)
*cout unitaire (par ha) des aménagements C.E.S.
/CONSTOUVR 400,CONSOUVR 210,ENTROUVR 100,ENTRLAC 170,BANDHER 170/;

TABLE COMPCEsi(TCES,AC,EX) les composantes initial en CES (unite:Ha)
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\compces.kam

PARAMETER COUCEsti(TCES,AC);
COUCEsti(TCES,AC)=COUCESi(TCES)*TACT(AC);

****-----DONNEES CULTURES-----**
--**

SCALARS
UFCC unite fouragere par Kg de concentre /0.76/
MSCC taux de matiere seche par Kg de concentre /0.85/
MACC taux de matiere azote par kg de concentre /0.73/
PACCi prix d achat de concentre /0.370/
;

PARAMETER PACcti(AC);
PACcti(AC)=PACCi*TACT(AC);
TABLE QCSTOi(ex,c,s,p,AC) stock initial des cultures par groupe dexploitation
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\stocini.kam

TABLE QCSTOhp(ex,c,s,A)
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\stochp.kam

PARAMETER UFS(C,S) Unite Fouragere par unite de produit

/ORGE.GRAIN 1010,MEDICA.DVC 95.12,BLED.PAILLE 4.82,BLET.PAILLE 4.82,
ORGE.PAILLE 3.17,AVOINE.FOIN 14.38,ORGEV.ENSIL 170/;

PARAMETER TMSC(C,S) taux de matiere seche par unite de produit
/ORGE.GRAIN 890,MEDICA.DVC 164,BLED.PAILLE 14.2,BLET.PAILLE
14.2,ORGE.PAILLE 13.9,AVOINE.FOIN 12.12,ORGEV.ENSIL 270/;

Table SAGC(pc,A,ex,SO)
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\supgc.kam

Table SACPi(pc,AC,ex,SO) precedent culturale
\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\sac.kam

PARAMETER SAUi(EX,AC) surface agricole utile par groupe dexploitation
/EP.1999*2004 6,EMM.1999*2004 20,EME.1999*2004 48.5,EGM.1999*2004
144,EGE.1999*2004 485,EIN.1999*2004 13,ESI.1999*2004 12.5,EPU.1999*2004
1495,SMVDA.1999*2004 547/;

TABLE PROPi(EX,AC) terres en propriete
1999*2004

EP	6
EMM	20
EME	48.5
EGM	144
EGE	485
EIN	13
ESI	12.5
EPU	1495
SMVDA	547

;

PARAMETER SHAIHP(EX,A)
/EP.A1 0,EMM.A1 0,EME.A1 0,EGM.A1 0,EGE.A1 0,EIN.A1 0,ESI.A1 0,EPU.A1
0,SMVDA.A1 0/;

PARAMETER INISLOU(Ex,A)
/EP.A1 0,EMM.A1 0,EME.A1 0,EGM.A1 0,EGE.A1 0,EIN.A1 0,ESI.A1 0,EPU.A1
0,SMVDA.A1 0/;

PARAMETER INISCEDE(Ex,A)
/EP.A1 0,EMM.A1 0,EME.A1 0,EGM.A1 0,EGE.A1 0,EIN.A1 0,ESI.A1 0,EPU.A1
0,SMVDA.A1 0/;

PARAMETER PROB(N)
/N1 0.35,N2 0.26,N3 0.39/;

TABLE UFCHACERN(C,p,t,N) Unite Fouragere de chaume cereale

	N1	N2	N3
BLED.p2.T1*T6	150	125	100
BLET.p2.T1*T6	150	125	100
ORGE.p2.T1*T6	150	125	100

;

PARAMETER UFCHACER(C,p,t) Unite fouragere moyenne de chaume de cereale;
UFCHACER(C,p,t)=sum(N,UFCHACERN(C,p,t,N)*PROB(N));
Display UFCHACER;

TABLE UFSHAFOIN(c,p,t,N) Unite Fouragere de chaume foin

	N1	N2	N3
MEDICA.p1.T1*T6	600	500	400
AVOINE.p1.T1*T6	150	125	100
ORGEV.p1.T1*T6	150	125	100

;

TABLE UFSHAFRUI(c,p,t,N) Unite Fouragere de chaume fruit

	N1	N2	N3
PASTEQ.p1.T1*T6	400	300	200

```
POTERRE.p1.T1*T6      400      300      200
TOMATE.p1.T1*T6      400      300      200
;
TABLE BESIRRI(c,t,p) besoin en eau dirrigation
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\besi.kam

PARAMETER UFSHAFR(c,p,t) Unite fouragere moyenne de chaume foin;
UFSHAFR(c,p,t)=sum(N,UFSHAFRUI(c,p,t,N)*PROB(N));
Display UFSHAFR;

PARAMETER UFSHAFOI(c,p,t) Unite fouragere moyenne de chaume foin;
UFSHAFOI(c,p,t)=sum(N,UFSHAFOIN(c,p,t,N)*PROB(N));
Display UFSHAFOI;

TABLE UFPAT1(c,t,p,N) unite fouragere de paturage
                N1      N2      N3
PARCOURS.T1*T6.p1*p3  2000  1500  700
MEDICA.T1*T6.p1*p3   2500  1000  400
;

PARAMETER UFPAT(c,t,p) unite fouragere de paturage(moyen sur trois ans);
UFPAT(c,t,p)=sum(N,UFPAT1(c,t,p,N)*PROB(N));
Display UFPAT;

PARAMETER MSCHACER(c,p,t);
MSCHACER(c,p,t)=4.25*UFCHACER(c,p,t);
display MSCHACER;

PARAMETER MSCHAFOI(C,P,T);
MSCHAFOI(C,P,T)=4.25*UFSHAFOI(C,P,T);
display MSCHAFOI;

PARAMETER MSCHAFR(C,P,T);
MSCHAFR(C,P,T)=4.25*UFSHAFR(C,P,T);
display MSCHAFR;

PARAMETER MSPAT(c,t,p);
MSPAT(c,t,p)=4.25*UFPAT(c,t,p);
display MSPAT;

TABLE BTM(c,t,p) besoin en jour de travail par culture et par periode
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\btm.kam

TABLE BTME(C,t,TSM,p) besoin en heure de mecanisation par culture et par
periode
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\btme.kam

TABLE EROSIi(C,PC,SO,EX,N,t) erosion par culture par precedent culturale et
par exploitation
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\erosmod.kam

PARAMETER EROSI(C,PC,SO,EX,t) erosion par culture (moyen sur trois ans);
EROSI(C,PC,SO,EX,t)=sum(N,EROSIi(C,PC,SO,EX,N,t)*PROB(N));
Display EROSI;

TABLE RDTN(c,pc,s,so,p,ex,N,t) rendements des cultures par groupe
dexploitation
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\rendmod1.kam

PARAMETER RDT(c,pc,s,so,p,ex,t) rendements moyennes des cultures(moyen sur
trois ans);
RDT(c,pc,s,so,p,ex,t)=sum(N,RDTN(c,pc,s,so,p,ex,N,t)*PROB(N));
Display RDT;
```

TABLE CHOVni(c,pc,s,so,ex,N,t) charges directes par cultures et par groupe d'exploitation

\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\modchav.kam

PARAMETER CHOVi(c,pc,s,so,ex,t) charges directes des cultures (moyenne sur trois ans);

CHOVi(c,pc,s,so,ex,t)=sum(N,CHOVni(c,pc,s,so,ex,N,t)*PROB(N));

Display CHOVi;

TABLE VPrv(C,S,PI) coefficients de variation de prix des cultures

\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\vp.kam

TABLE PVCi(C,SC,AC) prix de vente anticipés des produits végétaux de consommation

* Grandes Cultures, arboricultures, culture maraichère et légumineuses en DT/T

\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\pvci.kam

TABLE PVChp(C,SC,A)

\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\pvchp.kam

TABLE PVCfi(C,SS,AC) prix de vente anticipés des produits fourragers

* Paille, foin en DT/balle, ensilage par tonne

\$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\pvcfi.kam

PARAMETER PVcti(C,Sc,AC);

PVcti(c,sc,AC)=PVCi(c,sc,AC)*TACT(AC);

PARAMETER PVCfti(C,SS,AC);

PVCfti(c,ss,AC)=PVCfi(c,ss,AC)*TACT(AC);

PARAMETER PRActi(c,sc,AC);

*prix d'achat des pdts végétaux de consommation

PRActi(c,sc,AC)=1.25*PVcti(c,sc,AC)\$pcs(c,sc);

*coûts de transaction est de 25%

PARAMETER PVSti(c,sc,AC);

*prix de revient des cultures de consommation (valorisation de stock)

PVSti(c,sc,AC)=0.80*PVcti(c,sc,AC)\$pcs(c,sc);

PARAMETER PRACfti(c,ss,AC);

*prix d'achat des pdts végétaux fourragers

PRACfti(c,ss,AC)=1.25*PVCfti(c,ss,AC)\$pcs(c,ss);

*coûts de transaction est de 25%

PARAMETER PVSfti(c,ss,AC);

*prix de revient des cultures fourragers (valorisation de stock)

PVSfti(c,ss,AC)=0.80*PVCfti(C,SS,AC)\$pcs(c,ss);

PARAMETER CHOVti(c,pc,s,so,ex,t,AC);

CHOVti(c,pc,s,so,ex,t,AC)=CHOVni(c,pc,s,so,ex,t)*TACT(AC);

PARAMETER CHOVnti(c,pc,s,so,ex,N,t,AC);

CHOVnti(c,pc,s,so,ex,N,t,Ac)=CHOVni(c,pc,s,so,ex,N,t)*TACT(AC);

****-----DONNEES ELEVAGES-----**

--**

PARAMETER TF(UZ) taux régional de fécondité

/bovine 1.07,OVINE 1.07/;

PARAMETER TRMF(UZ) taux régional de répartition mâle femelle

/bovine 0.50,OVINE 0.50/;

```
PARAMETER TFE(uz) taux regional de fertilite
/bovine 0.90,OVINE 0.90/;

PARAMETER TM(uz) taux regional de mortalite
/bovine 0.015,ovine 0.025/;

PARAMETER TRE(UZ) taux regional de reforme
/bovine 0.10,OVINE 0.15/;

PARAMETER TREN(UZ) taux regional de renouvellement
/bovine 0.40,OVINE 0.40/;

PARAMETER AUTOL(EX) Autoconsommation du lait par exploitation
/EP 0.80,EMM 0.80,EME 0.40,EGM 0.40,EGE 0.50,EIN 0.80,ESI 0.80,EPU 0,SMVDA
0.05/;

TABLE EFFI(An,EX) effectif initiaux par groupe dexploitation
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\effecini.kam

TABLE ovini(ex,An,uz,p,AC) stock initial des ovins par groupe dexploitation
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\stocovex1.kam

TABLE bovini(ex,An,uz,p,AC) stock initial des bovins par groupe
dexploitation
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\stobovex1.kam

TABLE CHOAni(An,ex) charges operationnelles par type danimaux et par
periode
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\chaoAnex.kam
*Autre que alimentation

TABLE BUF(An,p) besoin en UF par animale
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\besuf1.kam

TABLE BMS(An,p) besoin en MS par animale
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\besms.kam

TABLE BMOA(An,p,ex) besoin en Main douvre par animale
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\besmoa.kam

TABLE BTRA(An,p,TSM,ex) besoin en Main douvre par animale
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\besantr.kam

TABLE VPrA(UZ,M,PI) coefficient de variation de prix des animaux
          PI1          PI2          PI3
OVINE.VIAD    0.80      1.20      1.00
BOVINE.VIAD    0.80      1.20      1.00
BOVINE.LAIT    0.80      1.20      1.00
;
TABLE PRD(An,M) Production des animaux en poid vif et en lait
$INCLUDE c:\modeles\thes_kam\prodAn.kam

TABLE PVAni(UZ,M,AC) prix de vente des produits animaux
          1999
OVINE.VIAD    2550
BOVINE.VIAD    2260
BOVINE.LAIT    350
;
PARAMETER PVAhP(UZ,M,A)
/OVINE.VIAD.A1 0,BOVINE.VIAD.A1 0,BOVINE.LAIT.A1 0/;

PARAMETER PVAnti(UZ,M,AC);
PVAnti(UZ,M,AC)=PVAni(UZ,M,AC)*TACT(AC);

PARAMETER CHOAnti(ex,An,AC);
```

CHOAnti (ex, An, AC) = CHOAni (An, ex) * TACT (AC) ;

****-----DONNEES SPECIFIQUES DEMANDES-----****
--**

PARAMETER CONSVt(c,s) Consommation totale de reference des produits vegetaux

/BLED.GRAIN	32875
BLET.GRAIN	35237
ORGE.GRAIN	12627
OLIVE.FRUIT	32300
AMANDE.FRUIT	1373
POTERRE.FRUIT	4457
TOMATE.FRUIT	23663
PASTEQ.FRUIT	19056/;

PARAMETER ELASTV(c,s) Elasticites de la consommation des produits vegetaux

/BLED.GRAIN	-100
BLET.GRAIN	-100
ORGE.GRAIN	-100
OLIVE.FRUIT	-0.60
AMANDE.FRUIT	-0.47
POTERRE.FRUIT	-0.40
TOMATE.FRUIT	-0.60
PASTEQ.FRUIT	-0.47/;

PARAMETER PRIV(c,s) Prix de reference des produits vegetaux

/BLED.GRAIN	285
BLET.GRAIN	250
ORGE.GRAIN	170
OLIVE.FRUIT	304
AMANDE.FRUIT	350
POTERRE.FRUIT	250
PASTEQ.FRUIT	180
TOMATE.FRUIT	150/;

PARAMETER ALPHAV(c,s), BETAV(c,s) ;

ALPHAV(c,s) \$pav(c,s) = PRIV(c,s) / (ELASTV(c,s) * CONSVt(c,s)) ;

BETAV(c,s) \$pav(c,s) = PRIV(c,s) - (ALPHAV(c,s) * CONSVt(c,s)) ;

Display BETAV, ALPHAV;

PARAMETER ALVti(c,s,AC) ;

ALVti(c,s,AC) \$pav(c,s) = ALPHAV(c,s) \$pav(c,s) * TACT(AC) ;

PARAMETER BEVti(c,s,AC) ;

BEVti(c,s,AC) \$pav(c,s) = BETAV(c,s) \$pav(c,s) * TACT(AC) ;

PARAMETER CONSAt(UZ,M) Consommation totale de reference des produits animaux

/OVINE.VIAD 5040,BOVINE.VIAD 3473,BOVINE.LAIT 16358/;

PARAMETER PRIA(UZ,M) Prix de reference des produits animaux

/OVINE.VIAD 2550,BOVINE.VIAD 2260,BOVINE.LAIT 350/;

PARAMETER ELASTA(UZ,M) Elasticites de la consommation des produits animaux

/OVINE.VIAD -0.45,BOVINE.VIAD -0.35,BOVINE.LAIT -0.50/;

PARAMETER ALPHAAn(UZ,M), BETAAn(UZ,M) ;

ALPHAAn(UZ,M) \$span(uz,M) = PRIA(UZ,M) / (ELASTA(UZ,M) * CONSAt(UZ,M)) ;

BETAAn(UZ,M) \$span(uz,M) = PRIA(UZ,M) - (ALPHAAn(UZ,M) * CONSAt(UZ,M)) ;

Display BETAAn, ALPHAAn;

PARAMETER ALAti(UZ,M,AC) ;

ALAti (UZ, M, AC) \$span (uz, M) =ALPHAAn (UZ, M) \$span (uz, M) *TACT (AC) ;

PARAMETER BEAti (UZ, M, AC) ;

BEAti (UZ, M, AC) \$span (uz, M) =BETAAn (UZ, M) \$span (uz, M) *TACT (AC) ;

****-----PARAMETER-----**

--**

PARAMETER ALA (UZ, M, A)

PARAMETER BEA (UZ, M, A)

PARAMETER ALV (c, s, A)

PARAMETER BEV (c, s, A)

PARAMETER CF (ex, A) ;

PARAMETER CUP (A) ;

PARAMETER PLM (TSM, A) ;

PARAMETER PLT (A) ;

PARAMETER PLMO (A) ;

PARAMETER TRESin (ex, p, A) ;

PARAMETER CHOV (c, pc, s, so, ex, t, A) ;

PARAMETER CHOVn (c, pc, s, so, ex, N, t, A) ;

PARAMETER CHOAn (ex, An, A) ;

PARAMETER PACC (A) ;

PARAMETER SARF (c, A) ;

PARAMETER ovin (ex, An, uz, p, A) ;

PARAMETER bovin (ex, An, uz, p, A) ;

PARAMETER QCSTOin (ex, c, s, p, A) ;

PARAMETER COMPCEsi (TCES, A, EX) ;

PARAMETER COUCES (TCES, A) ;

PARAMETER PRAC (c, sc, A) ;

PARAMETER PVS (c, sc, A) ;

PARAMETER PRACF (c, ss, A) ;

PARAMETER PVSF (c, ss, A) ;

PARAMETER SAU (ex, A) ;

PARAMETER SACP (pc, A, ex, so) ;

PARAMETER SACC (c, A, ex)

PARAMETER PROP (ex, A) ;

PARAMETER SHAIN (ex, s, A) ;

PARAMETER PVAn (UZ, M, A) prix de vente anticipes des produits animaux
(annee de de depart) ;

PARAMETER PVC (c, sc, A) prix de vente anticipes des produits vegetaux de
consommation (annee de depart) ;

PARAMETER PVCF (c, ss, A) prix de vente anticipes des produits fourragers ;

****-----LES VARIABLES-----**

--**

variables

U	Objectif : utilite esperee globale (regionale)par horizon de planification
W(A) annuel	Surplus producteurs plus surplus consommateurs
Uhp (ex)	utilite esperee par horizon de planification et par groupe dexploitation
Zhp (ex)	revenu net espere par horizon de planification et par groupe dexploitation
Za (ex, A)	revenu net annuel espere par groupe dexploitation
Zc (ex, A) dexploitation	revenu vegetale annuel espere par groupe
Zan (ex, A) dexploitation	revenu animale annuel espere par groupe
Zfi (ex, A) dexploitation	revenu financier annuel espere par groupe
Znp (EX, N, PI, A)	revenu en fonction des etats de la nature et des deviations des prix

DEV (EX, N, PI, A)	Deviation en fonction des scenarios climatiques et de prix
;	
POSITIVE variables	
PR (ex, c, s, p, A)	production par produit par exploitation et par annee
SAUR (ex, A)	Surface agricole utile reel par an
PRODEXV (ex, c, s, A)	production vegetale annuelle commercialisee par produit et par groupe d'exploitation
PRODEXA (ex, UZ, M, A)	production animale annuelle commercialisee par produit et par groupe d'exploitation
PRODREV (c, s, A)	production vegetale annuelle regionale commercialisee par produit
PRODREA (UZ, M, A)	production animale annuelle regionale commercialisee par produit
EMPLT (A, AlC, EX)	Somme empruntee a long terme par alternative de credit et par exploitation
EMPCT (ex, p, A)	Somme empruntee a court terme par periode et par groupe d'exploitation
EMPCTD (ex, p, A)	Somme empruntee a court terme pour compenser les decouvertes par periode
EMPCTr (ex, p, A)	Montant des remboursements d'emprunts
EMPCTDr (ex, p, A)	Montant des remboursements d'emprunts
INTOT (ex, p, A)	Total des interets a court terme payes
X (ex, so, c, pc, t, A)	Superficie des differentes cultures
QPAT (ex, An, c, p, A)	Quantite de pature
QCFACH (ex, c, s, p, A)	Quantite des produits achetes
QDIS (ex, An, c, s, p, A)	Quantite de grain foin paille distribuer par periode
QCSTOfin (ex, c, s, p, A)	Quantite de grain foin paille stocker fin d annee
QCSTOini (ex, c, s, p, A)	Quantite de grain foin paille stocker debut d annee
STKC (ex, c, s, p, A)	Quantite de grain foin paille stocker fin periode
STKCN (ex, c, s, p, N, A)	Quantite de grain foin paille stocker debut periode
QCDIS (ex, An, p, A)	Quantite de concentre distribue
QCACH (ex, An, p, A)	Quantite de concentre achete
EFF (ex, uz, An, p, A)	Effectif par type danimaux
V (ex, uz, An, p, A)	Nombres d animaux vendu
VEC (ex, c, s, p, A)	Quantite de grain foin paille ensilage vendu
STKd (ex, uz, An, p, A)	Stock animaux debut de periode
STKdeb (ex, uz, An, p, A)	Stock animaux debut d annee
EFANPRO (ex, uz, an, A)	Effectif des unites femelles allaitantes
DECOUTOT (ex, A)	Montant de decouvert annuelle par groupe d'exploitation
ERO (ex, A)	Quantite total d erosion par exploitation et par an
EFFTOT (ex, uz, p, A)	Effectif total des animaux par groupe d'exploitation par p et par an
CASHP (ex, p, A)	cashflow de la precedente periode
CASH (ex, p, A)	Cashflow par periode et par an
EPARG (ex, p, A)	Somme placee
INTOTR (ex, p, A)	Total des interets recus
TRESHP (ex, p, A)	Tresorerie du debut de 1 annee
soeparg (ex, p, A)	
someparg (ex, p, A)	
Somempt (ex, p, A)	
Somemptd (ex, p, A)	
somend (ex, p, A)	
somendd (ex, p, A)	
somendr (ex, p, A)	
somenddr (ex, p, A)	
PRN (ex, c, s, p, N, A)	Production par produit par exploitation par periode et par N
QDISN (ex, An, c, s, p, N, A)	Quantite de grain foin paille distribuer par periode et par N

QCSTONfi(ex,c,s,p,N,A) Quantite de grain foin paille stocker par periode
 et par N
 QCSTONin(ex,c,s,p,N,A) Quantite de grain foin paille stocker par periode
 et par N
 VECN(ex,c,s,p,N,A) Quantite de grain foin paille ensilage vendu et par
 N
 QCFACHN(ex,c,s,p,N,A) Quantite des produits achetes
 SLOU(ex,A) hectares supplementaires loues
 SCEDE(ex,A) hectares supplementaires cedes
 HTLOU(ex,p,TSM,A) heures de traction loues
 HTCED(ex,p,TSM,A) heures de traction cedes
 MOLOU(ex,p,A) main doeuvre loues
 MOCED(ex,p,A) main doeuvre cedes
 ECT(ex,A) ecart type par rapport au revenu net espere annuel
 EROST(A)
 PCA(c,sc,A) prix des produits vegetaux anticipes au cours de 1
 annee A(sauf annee de depart)
 PAA(UZ,M,A) prix des produits vegetaux anticipes au cours de 1
 annee A(sauf annee de depart)
 PVO(c,sc,A) prix des produits vegetaux observes au cours de 1
 annee A
 PAO(UZ,M,A) prix des produits animaux observes au cours de 1
 annee A

;

SCEDE.up(PUBEX,A)=0;
 SLOU.up(ENI,A)=0;
 SCEDE.up(ENI,A)=0;
 HTLOU.up(ENI,p,'moisson',A)=0;
 HTCED.up(ENI,p,'moisson',A)=0;
 X.up(exes,so,cui,pc,t,A)=0;
 X.up(ex,so,c,pc,T14,A)=0;
 X.up(ex,so,cui,pc,T15,A)=0;
 X.up(exes,so,c,pc,T46,A)=0;
 X.up(ex,so,arb,pc,T46,A)=0;
 X.up(ex,so,cfr,pc,T46,A)=0;

****-----EQUATIONS-----**
--**

Equations

****-----FONCTIONS AGREGES-----**
--**

FONCOBJ
 *BIENETRE(A)
 PRODU CV(ex,c,s,A)
 PROREGV(c,s,A)
 PRODU CVI(ex,UZ,VI,A)
 PRODU CL(ex,uz,L,A)
 PROREGVI(UZ,VI,A)
 PROREGL(UZ,L,A)

****-----FONCTIONS INDIVIDUELLES-----**
--**

UTIHP(ex)
 RNEHP(ex) Equation revenu net espere par horizon de
 planification
 ECART(EX,A) Equation ecart type
 RNEcul(ex,A) Equation revenu culturale annuel espere
 RNEani(ex,A) Equation revenu animale annuel espere
 RNEfin(ex,A) Equation revenu financier annuel espere
 RNEA(ex,A) Equation revenu net annuel espere

CASHFLOW(ex,p,A) Equation cash flow par periode et par an
PRDUIT(ex,c,s,p,A)

****-----CONTRAINTE M.OEUVRE-----**

--**

MAIOUVRE(ex,p,A) contrainte main d oeuvre
MECANISA(ex,p,tsm,A) contrainte traction mecanique
biltra(p,A,tsm)
BMO(ex,p,A)
BTH(ex,p,A,TSM)
BMO1(ex,p,A)
BTH1(ex,p,A,TSM)
BESIRRG(ex,p,A)
bilmo(p,A)

****-----CONTRAINTE TERRE-----**

--**

Terrel(ex,A) contrainte de superficie
bilter(A)
terre2(ex,A)
rotbd(A,ex)
rotbt(A,ex)
rotor(A,ex)
rotvav(A,ex)
rotja(A,ex)
rotorv(A,ex)
SUPOL(A,ex)
SUPAM(A,ex)
SUPPA(A,ex)
SUPCA(A,ex)
SUPTO(A,ex)
SUPPT(A,ex)
SUPME(A,ex)
Scedelimit(ex,A)
Eqinlou(ex,A)
Eqinsced(ex,A)

****-----EQUATION DE L'EROSION-----**

--**

Erosion(ex,A)
Erosiot(A)

****-----CONTRAINTE ALIMENTATION-----**

--**

BESUF(ex,p,A) besoin alimentaire des animaux en unite fourragere
BESMS(ex,p,A) besoin alimentaire des animaux en matiere seche
BESCON(ex,p,A) besoin alimentaire des animaux en concentre
RATIONov(ex,p,A) contrainte de ration alimentaire des ovins
RATIONbov(ex,p,A) contrainte de ration alimentaire des bovins
patures(ex,p,A) contrainte paturage

****-----CONTRAINTE VENTE ET STOCKAGE-----**

--**

****-----VENTE DES CULTURES PAR PERIODE-----**

--**

BILAN1(ex,c,s,p,A)

****-----STOCK DES CULTURES FIN PERIODE-----****--****

STKP1 (ex, c, p1, s)
STKP2 (ex, c, s)
STKP3 (ex, c, s)
STKA1 (ex, c, s, A)
STKA2 (ex, c, s, A)

EQSTGRA1 (ex, c, p, sc, A) contrainte stockage des grains cereales
EQSTGRA2 (ex, c, p, ss, A) contrainte stockage des grains cereales
EQSTGRA3 (ex, c, p, sc, A) contrainte stockage des grains cereales

****-----STOCK ANIMAUX DEBUT PERIODE-----****--****

STKde2 (ex, uz, An, A) contrainte stock animaux debut de periode
STKde3 (ex, uz, An, A) contrainte stock animaux debut de periode

****-----STOCK DEBUT D ANNEE: passage per3 a per1-----****--****

STK1 (ex, uz, An) contrainte stock animaux debut d annee
STK2 (ex, uz, An) contrainte stock animaux debut d annee
iniSTK (ex, An) contrainte stock animaux initial
EFFTOTAL (ex, uz, p, A)

****-----EFFECTIF DES BREBIS ET DES VACHES PAR PERIODE-----****--****

EFBREBIS12 (ex, p12, A)
EFBREBIS3 (ex, p3, A)
EFVACHE12 (ex, p12, A)
EFVACHE3 (ex, p3, A)
EFFANPRO (ex, UZ, An, A)

****-----VENTE DES BREBIS ET DES VACHES REFORMES-----****--****

vebrebis3 (ex, p3, A)
vebrebis12 (ex, p12, A)
vevache3 (ex, p3, A)
vevache12 (ex, p12, A)

****-----EFFECTIF BELIER ET DES TAURILLONS PAR PERIODE-----****--****

EFBELIER12 (ex, p12, A)
EFBELIER3 (ex, p3, A)
EFTAURIL12 (ex, p12, A)
EFTAURIL3 (ex, p3, A)

****-----VENTE DES BELIERS REFORMES-----****--****

vebelier3 (ex, p3, A)
vebelier12 (ex, p12, A)
vetauril3 (ex, p3, A)
vetauril12 (ex, p12, A)

****-----EFFECTIF ANTENAISES1 ET DES GENISSES1 PAR PERIO----**
--**

elantnse1 (ex,p1,A)
e23antnse1 (ex,p23,A)
elgenise1 (ex,p1,A)
e23genise1 (ex,p23,A)

****----- EFFECTIF ANTENAISES2 ET DES GENISSES2 PAR PERIO----**
--**

elantnse2 (ex,p1,A)
e2antnse2 (ex,p2,A)
e3antnse2 (ex,p3,A)
VENANTNSE (ex,p2,A)
elgenise2 (ex,p1,A)
e2genise2 (ex,p2,A)
e3genise2 (ex,p3,A)
VENGENISE (ex,p2,A)

****-----EFFECTIF ANTNS1 ET BOEUF1 PAR PERIODE-----**
--**

elantns1 (ex,p1,A)
e23antns1 (ex,p23,A)
elboeuf1 (ex,p1,A)
e23boeuf1 (ex,p23,A)

****-----EFFECTIF ANTNS2 ET BOEUF2 PAR PERIODE-----**
--**

elantns2 (ex,p1,A)
e2antns2 (ex,p2,A)
e3antns2 (ex,p3,A)
VENANTNS (ex,p2,A)

elboeufs2 (ex,p1,A)
e2boeufs2 (ex,p2,A)
e3boeufs2 (ex,p3,A)
VENboeufs (ex,p2,A)

****--EFFECTIF DES AGNELLES ET DES BROUARDS FEMELLES PAR PERIODE--****

efagnel1 (ex,p1,A)
efagnel23 (ex,p23,A)
efvellese1 (ex,p1,A)
evellese23 (ex,p23,A)

****---EFFECTIF DES AGNEAUX ET DES BROUARDS MALE PAR PERIODE--**
--**

efagnea1 (ex,p1,A)
efagnea23 (ex,p23,A)
efVEAUXa1 (ex,p1,A)
eVEAUXa23 (ex,p23,A)

****-----CONTRAINTE TRESORERIE-----**
--**

CASHdp1 (ex,A) contrainte cash flow
CASHdp2 (ex,A) contrainte cash flow
CASHdp3 (ex,A) contrainte cash flow
EQTRE1 (ex,A) contrainte tresorerie

EQTRE2(ex,p23,A) contrainte tresorerie

****-----CONTRAINTE EMPRUNT-----****

--**

EMPCTE(ex,A)
EMPCTEDE(ex,A)
EQREMBOU1(ex,p,A)
EQREMBOU2(ex,p,A)
MAEMCT1(ex,A)
MAEMCT2(ex,A)
EQSOMEMPT(ex,p,A)
SOMEM1(ex,A)
SOMEM2(ex,A)
SOMEM3(ex,A)
SOMEMr1(ex,A)
SOMEMr2(ex,A)
SOMEMr3(ex,A)
EQSOMEMPTd(ex,p,A)
SOMEMD1(ex,A)
SOMEMD2(ex,A)
SOMEMD3(ex,A)
SOMEMDr1(ex,A)
SOMEMDr2(ex,A)
SOMEMDr3(ex,A)
TOINT(ex,p,A)
TODECO(ex,A)
SOEPARG1(ex,A)
SOEPARG2(ex,A)
SOEPARG3(ex,A)
SOMEPAR(ex,p,A)
TOINTR(ex,p,A)
EQINVLT(ex,A)

****-----CONTRAINTE RISQUE-----****

--**

RISD(ex,An,c,s,p,A)
RISTF(ex,c,s,p,A)
RISTI(ex,c,s,p,A)
RISVE(ex,c,s,p,A)
RISACH(ex,c,s,p,A)
EQSTN(ex,c,s,p,A)
RISPR(ex,c,s,p,A)
EQPRON(ex,c,s,p,N,A)

BILANR(ex,c,s,p,N,A)
Risk1(EX,N,PI,A) contrainte risque
Risk2(EX,N,PI,A) contrainte deviation

****-----EQUATION DE CALCUL DES PRIX-----****

--**

PRIX1(c,sc,A)
PRIX2(UZ,M,A)
PRIX3(c,sc,A)
PRIX4(UZ,M,A)
;

****-----RESOLUTION-----****

--**

****-----LES FONCTIONS AGREGES-----****

--**

FONCOBJ .. U=E=sum ((EX) , Uhp (ex) *PONDE (ex)) ;
 PRODUCV (ex, c, s, A) .. sum ((p) , VEC (ex, c, s, p, A) \$pcs (c, s)) =E=PRODEXV (ex, c, s, A) ;
 PRODUCVI (ex, UZ, vi, A) ..
 sum ((an, p) , v (ex, uz, an, p, A) \$ufe (an, uz) *PRD (an, vi)) =E=PRODEXA (ex, UZ, vi, A) ;
 PRODUCL (ex, UZ, L, A) .. sum ((an) , EFANPRO (ex, UZ, an, A) \$ufe (an, uz) *PRD (an, L) * (1-
 AUTOL (EX))) =E=PRODEXA (ex, UZ, L, A) ;
 PROREGV (c, s, A) ..
 PRODREV (c, s, A) =E=sum ((p, ex) , VEC (ex, c, s, p, A) \$pcs (c, s) *PONDE (ex)) ;
 PROREGVI (UZ, vi, A) ..
 PRODREA (UZ, vi, A) =E=sum ((ex, an, p) , V (ex, uz, an, p, A) \$ufe (an, uz) *PRD (an, vi) *POND
 E (ex)) ;
 PROREGL (UZ, L, A) ..
 PRODREA (UZ, L, A) =E=sum ((ex, an) , EFANPRO (ex, UZ, an, A) \$ufe (an, uz) *PRD (an, L) * (1-
 AUTOL (ex)) *PONDE (ex)) ;

 *BIENETRE (A) .. (sum ((c, s) , (BETAV (c, s) \$pav (c, s) +
 *0.5*ALPHAV (c, s) \$pav (c, s) *PRODREV (c, s, A)) *PRODREV (c, s, A)) +
 *sum ((uz, m) , (BETAAn (UZ, M) \$span (UZ, M) +
 *0.5*ALPHAAn (UZ, M) \$span (UZ, M) *PRODREA (UZ, M, A)) *PRODREA (UZ, M, A))
 *sum ((ex, so, c, s, t, pc) \$ (MP (c, t, pc)) , CHOV (ex, c, s, t, A) \$pcs (c, s) *
 *X (ex, so, c, pc, t, A) \$psex (EX, SO))
 *sum ((ex, so, c, s, t, pc) \$ (MP (c, t, pc)) , CHMOSS (ex, c, s, t, A) \$pcs (c, s) *
 *X (ex, so, c, pc, t, A) \$psex (EX, SO))
 *sum ((ex, so, c, p, t, pc) \$ (MP (c, t, pc)) , CHFAU (ex, c, 'paille', A) *
 *RDT (ex, c, 'paille', p, t) \$pcs (c, 'paille') *X (ex, so, c, pc, t, A) \$psex (EX, SO))
 *-sum ((ex, so, c, p, t, pc) \$ (MP (c, t, pc)) , CHFAU (ex, c, 'foin', A) *
 *RDT (ex, c, 'foin', p, t) \$pcs (c, 'foin') *X (ex, so, c, pc, t, A) \$psex (EX, SO))
 *-sum ((ex, so, c, p, t, pc) \$ (MP (c, t, pc)) , CHFAU (ex, c, 'ensil', A) *
 *RDT (ex, c, 'ensil', p, t) \$pcs (c, 'ensil') *X (ex, so, c, pc, t, A) \$psex (EX, SO))
 *
 *
 sum ((ex, c, sc, p) , QCFACH (ex, c, sc, p, A) \$pcs (c, sc) *PRAC (c, sc, A))
 *
 *
 sum ((ex, c, ss, p) , QCFACH (ex, c, ss, p, A) \$pcs (c, ss) *PRACF (c, ss, A))
 *
 *
 *
 sum ((ex, uz, An, p) , CHOAn (ex, An, A) *EFF (ex, uz, An, p, A) \$ufe (an, uz)))
 *
 =E= w (A) ;

****-----LES FONCTIONS INDIVIDUELLES-----****

--**

UTIHP (ex) .. Uhp (ex) =E=
 sum ((c, sc, p, A) , VEC (ex, c, sc, p, A) *PCA (c, sc, A) \$pcs (c, sc))
 + sum ((c, ss, p, A) , VEC (ex, c, ss, p, A) \$pcs (c, ss) *PVCF (c, ss, A))
 + sum ((c, sc, p, A) , (QCSTOfin (ex, c, sc, p, A) -QCSTOini (ex, c, sc, p, A) -
 STKC (ex, c, sc, p, A)) \$pcs (c, sc) *PCA (c, sc, A) *0.8)
 + sum ((c, ss, p, A) , (QCSTOfin (ex, c, ss, p, A) -QCSTOini (ex, c, ss, p, A) -
 STKC (ex, c, ss, p, A)) \$pcs (c, ss) *PVSF (c, ss, A))
 + sum ((uz, an, L, A) , PAA (UZ, l, A) *prd (an, L) *EFANPRO (ex, uz, an, A) \$uff (an, uz))
 + sum ((uz, an, VI, p, A) , PAA (UZ, vi, A) *prd (an, Vi) *v (ex, uz, an, p, A) \$ufe (an, uz))
 -sum ((c, so, s, t, A, pc) \$ (MP (c, t, pc)) , CHOV (c, pc, s, so, ex, t, A) \$pcs (c, s) *
 X (ex, so, c, pc, t, A) \$psex (EX, SO))
 - sum ((uz, An, p, A) , CHOAn (ex, An, A) *EFF (ex, uz, An, p, A) \$ufe (an, uz))
 - sum ((c, sc, p, A) , QCFACH (ex, c, sc, p, A) \$pcs (c, sc) *PCA (c, sc, A) *1.25)
 - sum ((c, ss, p, A) , QCFACH (ex, c, ss, p, A) \$pcs (c, ss) *PRACF (c, ss, A))
 - sum ((An, p, A) , QCACH (ex, An, p, A) *PACC (A))
 + sum ((p, A) , INTOTR (ex, p, A))
 + sum ((TSM, p, A) , HTCED (ex, p, TSM, A) *PLM (TSM, A) *0.90)

```

+ sum( (p,A) ,MOCED(ex,p,A) *PLMO(A) *0.90)
+ sum(A, (INISCEDE(ex,A)+SCEDE(ex,A) ) *PLT(A) *0.90)
- sum( (TSM,p,A) ,HTLOU(ex,p,TSM,A) *PLM(TSM,A) )
- sum( (p,A) ,MOLOU(ex,p,A) *PLMO(A) )
- sum(A, (INISLOU(Ex,A)+SLOU(ex,A) ) *PLT(A) )
- sum( (p,A) , INTOT(ex,p,A) )
- sum( (A,ALC) , EMPLT(A,ALC,EX) * (AM(ALC)+TIL(ALC)/2) )
- sum( (p,A) , NMP(EX,P) *CUP(A) )
- sum(A,CF(ex,A) )
- sum(A,CAR(EX) *ECT(EX,A) ) ;

```

RNEHP(ex) ..

```

Zhp(ex)=E=sum( (c,sc,p,A) ,VEC(ex,c,sc,p,A) *PCA(c,sc,A) $pcs(c,sc) )
+ sum( (c,ss,p,A) ,VEC(ex,c,ss,p,A) $pcs(c,ss) *PVCF(c,ss,A) )
+ sum( (c,sc,p,A) , (QCSTOfin(ex,c,sc,p,A)-QCSTOini(ex,c,sc,p,A) -
STKC(ex,c,sc,p,A) ) $pcs(c,sc) *PCA(c,sc,A) *0.8)
+ sum( (c,ss,p,A) , (QCSTOfin(ex,c,ss,p,A)-QCSTOini(ex,c,ss,p,A) -
STKC(ex,c,ss,p,A) ) $pcs(c,ss) *PVSF(c,ss,A) )
+
sum( (uz,an,L,A) ,PAA(UZ,l,A) *prd(an,L) *EFANPRO(ex,uz,an,A) $uff(an,uz) )
+
sum( (uz,an,VI,p,A) ,PAA(UZ,vi,A) *prd(an,Vi) *v(ex,uz,an,p,A) $ufe(an,uz) )
-
sum( (c,so,s,t,A,pc) $ (MP(c,t,pc) ) ,CHOV(c,pc,s,so,ex,t,A) $pcs(c,s) *X(ex,so,c,
pc,t,A) $psex(EX,SO) )
- sum( (uz,An,p,A) ,CHOAn(ex,An,A) *EFF(ex,uz,An,p,A) $ufe(an,uz) )
- sum( (c,sc,p,A) ,QCFACH(ex,c,sc,p,A) $pcs(c,sc) *PCA(c,sc,A) *1.25)
- sum( (c,ss,p,A) ,QCFACH(ex,c,ss,p,A) $pcs(c,ss) *PRACF(c,ss,A) )
- sum( (An,p,A) ,QCACH(ex,An,p,A) *PACC(A) )
+ sum( (p,A) , INTOTR(ex,p,A) )
+ sum( (TSM,p,A) ,HTCED(ex,p,TSM,A) *PLM(TSM,A) *0.90)
+ sum( (p,A) ,MOCED(ex,p,A) *PLMO(A) *0.90)
+ sum(A, (INISCEDE(ex,A)+SCEDE(ex,A) ) *PLT(A) *0.90)
- sum( (TSM,p,A) ,HTLOU(ex,p,TSM,A) *PLM(TSM,A) )
- sum( (p,A) ,MOLOU(ex,p,A) *PLMO(A) )
- sum(A, (INISLOU(Ex,A)+SLOU(ex,A) ) *PLT(A) )
- sum( (p,A) , INTOT(ex,p,A) )
- sum( (A,ALC) , EMPLT(A,ALC,EX) * (AM(ALC)+TIL(ALC)/2) )
- sum( (p,A) , NMP(EX,P) *CUP(A) )
- sum(A,CF(ex,A) ) ;

```

ECART(ex,A) .. ECT(ex,A)=E=SQRT(sum((N,PI) ,SQR(DEV(EX,N,PI,A))) /9) ;

RNEcul(ex,A)

```

..Zc(ex,A)=E=sum( (c,sc,p) ,VEC(ex,c,sc,p,A) $pcs(c,sc) *PCA(c,sc,A) )
+ sum( (c,ss,p) ,VEC(ex,c,ss,p,A) $pcs(c,ss) *PVCF(c,ss,A) )
+ sum( (c,sc,p) , (QCSTOfin(ex,c,sc,p,A)-QCSTOini(ex,c,sc,p,A) -
STKC(ex,c,sc,p,A) ) $pcs(c,sc) *PCA(c,sc,A) *0.8)
+ sum( (c,ss,p) , (QCSTOfin(ex,c,ss,p,A)-QCSTOini(ex,c,ss,p,A) -
STKC(ex,c,ss,p,A) ) $pcs(c,ss) *PVSF(c,ss,A) )
- sum( (c,so,s,t,pc) $ (MP(c,t,pc) ) ,CHOV(c,pc,s,so,ex,t,A) $pcs(c,s) *
X(ex,so,c,pc,t,A) $psex(EX,SO) )
- sum( (c,sc,p) ,QCFACH(ex,c,sc,p,A) $pcs(c,sc) *PCA(c,sc,A) *1.25)
+ sum( (TSM,p) ,HTCED(ex,p,TSM,A) *PLM(TSM,A) *0.90)
+ sum( (p) ,MOCED(ex,p,A) *PLMO(A) *0.90)
+ (INISCEDE(ex,A)+SCEDE(ex,A) ) *PLT(A) *0.90
- sum( (TSM,p) ,HTLOU(ex,p,TSM,A) *PLM(TSM,A) )
- sum( (p) ,MOLOU(ex,p,A) *PLMO(A) )
- (INISLOU(Ex,A)+SLOU(ex,A) ) *PLT(A) ;

```

RNEani(ex,A)

```

..Zan(ex,A)=E=sum( (uz,an,L) ,PAA(UZ,l,A) *prd(an,L) *EFANPRO(ex,uz,an,A) $uff(a
n,uz) )
+ sum( (uz,an,VI,p) ,PAA(UZ,vi,A) *prd(an,Vi) *v(ex,uz,an,p,A) $ufe(an,uz) )
- sum( (uz,An,p) ,CHOAn(ex,An,A) *EFF(ex,uz,An,p,A) $ufe(an,uz) )

```

- sum((c, ss, p), QCFAH(ex, c, ss, p, A) \$pcs(c, ss) *PRACF(c, ss, A))
 - sum((An, p), QCACH(ex, An, p, A) *PACC(A)) ;

RNEfin(ex, A) .. Zfi(ex, A)=E=sum(p, INTOTR(ex, p, A))
 - sum(p, INTOT(ex, p, A))
 - sum(ALC, EMPLT(A, ALC, EX) * (AM(ALC) +TIL(ALC) /2))
 - CF(ex, A)
 - sum(p, NMP(EX, P) *CUP(A)) ;

RNEA(ex, A) .. Za(ex, A)=E=(Zc(ex, A) +Zan(ex, A) +Zfi(ex, A)) ;

CASHFLOW(ex, p, A) ..
 cash(ex, p, A)=E=sum((c, sc), VEC(ex, c, sc, p, A) \$pcs(c, sc) *PCA(c, sc, A))
 + sum((c, ss), VEC(ex, c, ss, p, A) \$pcs(c, ss) *PVCF(c, ss, A))
 + sum((uz, an, L), PAA(UZ, l, A) *prd(an, L) *EFANPRO(ex, uz, an, A) \$uff(an, uz)) /3
 + sum((uz, an, VI), PAA(UZ, vi, A) *prd(an, Vi) *v(ex, uz, an, p, A) \$ufe(an, uz))
 - sum((c, so, s, t, pc) \$ (MP(c, t, pc)) , CHOV(c, pc, s, so, ex, t, A) \$pcs(c, s) *
 X(ex, so, c, pc, t, A) \$psex(EX, SO)) /3
 - sum((uz, An), CHOAn(ex, An, A) *EFF(ex, uz, An, p, A) \$ufe(an, uz))
 - sum(An, QCACH(ex, An, p, A) *PACC(A))
 - sum((c, sc), QCFAH(ex, c, sc, p, A) \$pcs(c, sc) *PCA(c, sc, A) *1.25)
 - sum((c, ss), QCFAH(ex, c, ss, p, A) \$pcs(c, ss) *PRACF(c, ss, A))
 - sum(ALC, EMPLT(A, ALC, EX) * (AM(ALC) +TIL(ALC) /2)) /3
 - INTOT(ex, p, A)
 - CF(ex, A) /3
 - NMP(EX, P) *CUP(A)
 + INTOTR(ex, p, A)
 + sum(TSM, HTCED(ex, p, TSM, A) *PLM(TSM, A) *0.90)
 + MOCED(ex, p, A) *PLMO(A) *0.90
 + (INISCEDE(ex, A) +SCEDE(ex, A)) *PLT(A) *0.90/3
 - sum(TSM, HTLOU(ex, p, TSM, A) *PLM(TSM, A))
 - MOLOU(ex, p, A) *PLMO(A)
 - (INISLOU(Ex, A) +SLOU(ex, A)) *PLT(A) /3
 + EMPCT(ex, p, A) +EMPCTD(ex, p, A) -EMPCTr(ex, p, A) -EMPCTDr(ex, p, A)
 + CASHP(ex, p, A)
 + TRESHP(ex, p, A)
 + REVE(ex, p, A)
 - PRELEV(ex, p, A)
 - EPARG(ex, p, A) ;

PRDUIT(ex, c, s, p, A) .. PR(ex, c, s, p, A)=E=sum((t, pc, SO) \$ (MP(c, t, pc)) , RDT(c, pc, s,
 so, p, ex, t) \$pcs(c, s) *X(ex, so, c, pc, t, A) \$psex(EX, SO)) ;

****-----CONTRAINTE M.OUVRE-----**
--**

MAIOUVRE(ex, p, A) .. sum((c, so, t, pc) \$ (MP(c, t, pc)) , BTM(C, t, p) *X(ex, so, c, pc, t, A)
 \$psex(EX, SO))
 +sum((uz, An), BMOA(An, p, ex) *EFF(ex, uz, An, p, A) \$ufe(an, uz))
 =l=HDM(ex, p) +MOLOU(ex, p, A) -MOCED(ex, p, A) ;

MECANISA(ex, p, TSM, A) .. sum((c, so, t, pc) \$ (MP(c, t, pc)) , BTME(C, t, TSM, p) *X(ex, so,
 c, pc, t, A) \$psex(EX, SO))
 +sum((uz, An), BTRA(An, p, TSM, ex) *EFF(ex, uz, An, p, A) \$ufe(an, uz))
 =l=HDT(ex, p, TSM) +HTLOU(ex, p, TSM, A) -HTCED(ex, p, TSM, A) ;

BMO(ex, p, A) .. MOCED(ex, p, A) =l=HDM(ex, p) ;
 BTH(ex, p, A, TSM) .. HTCED(ex, p, TSM, A) =l=HDT(ex, p, TSM) ;
 BMO1(ex, p, A) .. MOLOU(ex, p, A) =l=sum((c, so, t, pc) \$ (MP(c, t, pc)) , BTM(C, t, p) *X(ex,
 so, c, pc, t, A) \$psex(EX, SO))
 +sum((uz, An), BMOA(An, p, ex) *EFF(ex, uz, An, p, A) \$ufe(an, uz)) ;
 BTH1(ex, p, A, TSM) .. HTLOU(ex, p, TSM, A) =l=sum((c, so, t, pc) \$ (MP(c, t, pc)) , BTME(C, t,
 TSM, p) *X(ex, so, c, pc, t, A) \$psex(EX, SO))
 +sum((uz, An), BTRA(An, p, TSM, ex) *EFF(ex, uz, An, p, A) \$ufe(an, uz)) ;

bilmo(p,A)..sum((ex),MOCED(ex,p,A)*PONDE(ex))=e=sum((ex),MOLOU(ex,p,A)*POND
E(ex));
biltra(p,A,tsm)..sum((ex),HTCED(ex,p,TSM,A)*PONDE(ex))=e=sum((ex),HTLOU(ex,
p,TSM,A)*PONDE(ex));

BESIRRG(ex,p,A)..sum((c,so,t,pc)\$ (MP(c,t,pc)),BESIRRI(c,t,p)*X(ex,so,c,pc,t
,A)\$psex(EX,SO))=l=DEI(ex,p);

****-----CONTRAINTE TERRE-----**
--**

terrel(ex,A)..
sum((so,c,t,pc)\$ (MP(c,t,pc)),X(ex,so,c,pc,t,A)\$psex(EX,SO))=l=SAUR(ex,A)+SL
OU(ex,A)-SCEDE(ex,A);

terre2(ex,A)..SAUR(ex,A)=l=SHAIhp(ex,A)+
SAU(ex,A)+sum((so,c,t,pc)\$ (MP(c,t,pc)),X(ex,so,c,pc,t,A-1));

rotbd(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'bled')),X(ex,so,c,'bled',t,A)\$psex(EX,SO
)=l=sum((so,pc,t)\$ (MP('bled',t,pc)),X(ex,so,'bled',pc,t,A-1)\$psex(EX,SO))+
sum(so,(SACP('bled',A,ex,so)+SAGC('bled',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

rotbt(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'blet')),X(ex,so,c,'blet',t,A)\$psex(EX,SO
)=l=sum((so,pc,t)\$ (MP('blet',t,pc)),X(ex,so,'blet',pc,t,A-1)\$psex(EX,SO))+
sum(so,(SACP('blet',A,ex,so)+SAGC('blet',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

rotor(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'orge')),X(ex,so,c,'orge',t,A)\$psex(EX,SO
)=l=sum((so,pc,t)\$ (MP('orge',t,pc)),X(ex,so,'orge',pc,t,A-1)\$psex(EX,SO))+
sum(so,(SACP('orge',A,ex,so)+SAGC('orge',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

rotvav(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'AVOINE')),X(ex,so,c,'AVOINE',t,A)\$psex(E
X,SO))=l=sum((so,pc,t)\$ (MP('AVOINE',t,pc)),X(ex,so,'AVOINE',pc,t,A-
1)\$psex(EX,SO))+sum(so,(SACP('AVOINE',A,ex,so)+
SAGC('AVOINE',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

rotja(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'jach')),X(ex,so,c,'jach',t,A)\$psex(EX,SO
)=l=sum((so,pc,t)\$ (MP('jach',t,pc)),X(ex,so,'jach',pc,t,A-
1)\$psex(EX,SO))+sum(so,(SACP('jach',A,ex,so)+SAGC('jach',A,ex,so))\$psex(EX,
SO));

rotorv(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'orgev')),X(ex,so,c,'orgev',t,A)\$psex(EX
,SO))=l=sum((so,pc,t)\$ (MP('orgev',t,pc)),X(ex,so,'orgev',pc,t,A-
1)\$psex(EX,SO))+sum(so,(SACP('orgev',A,ex,so)+
SAGC('orgev',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

SUPOL(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'olive')),X(ex,so,c,'olive',t,A)\$psex(EX,
SO))=e=sum((so,pc,t)\$ (MP('olive',t,pc)),X(ex,so,'olive',pc,t,A-
1)\$psex(EX,SO))+sum(so,(SACP('olive',A,ex,so)+
SAGC('olive',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

SUPAM(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'Amande')),X(ex,so,c,'amande',t,A)\$psex(E
X,SO))=e=sum((so,pc,t)\$ (MP('amande',t,pc)),X(ex,so,'amande',pc,t,A-
1)\$psex(EX,SO))+sum(so,(SACP('amande',A,ex,so)+
SAGC('amande',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

SUPPA(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'PARCOURS')),X(ex,so,c,'PARCOURS',t,A)\$ps
ex(EX,SO))=g=sum((so,pc,t)\$ (MP('PARCOURS',t,pc)),X(ex,so,'PARCOURS',pc,t,A-
1)\$psex(EX,SO))+sum(so,(SACP('PARCOURS',A,ex,so)+
SAGC('PARCOURS',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

SUPCA(A,ex)..sum((so,c,t)\$ (MP(c,t,'PASTEQ')),X(ex,so,c,'PASTEQ',t,A)\$psex(E
X,SO))=l=sum((so,t,pc)\$ (MP('PASTEQ',t,pc)),X(ex,so,'PASTEQ',pc,t,A-
1)\$psex(EX,SO))+sum(so,(SACP('PASTEQ',A,ex,so)+
SAGC('PASTEQ',A,ex,so))\$psex(EX,SO));

```
SUPTO(A,ex) ..sum((so,c,t)$ (MP(c,t,'Tomate')),X(ex,so,c,'Tomate',t,A)$psex(E
X,SO))=1=sum((so,t,pc)$ (MP('tomate',t,pc)),X(ex,so,'tomate',pc,t,A-
1)$psex(EX,SO))+ sum(so,(SACP('tomate',A,ex,so))+
SAGC('tomate',A,ex,so))$psex(EX,SO));
```

```
SUPPT(A,ex) ..sum((so,c,t)$ (MP(c,t,'POTERRE')),X(ex,so,c,'POTERRE',t,A)$psex
(EX,SO))=1=sum((so,t,pc)$ (MP('POTERRE',t,pc)),X(ex,so,'POTERRE',pc,t,A-
1)$psex(EX,SO))+ sum(so,(SACP('POTERRE',A,ex,so))+
SAGC('POTERRE',A,ex,so))$psex(EX,SO));
```

```
SUPME(A,ex) ..sum((so,c,t)$ (MP(c,t,'MEDICA')),X(ex,so,c,'MEDICA',t,A)$psex(E
X,SO))=1=sum((so,t,pc)$ (MP('MEDICA',t,pc)),X(ex,so,'MEDICA',pc,t,A-
1)$psex(EX,SO))+ sum(so,(SACP('MEDICA',A,ex,so))+
SAGC('MEDICA',A,ex,so))$psex(EX,SO));
```

```
Scedelimit(ex,A) ..SCEDE(ex,A)=1=PROP(ex,A);
Eqinlou(ex,A) ..INISLOU(ex,A)=E=INISLOU(ex,A-1)+SLOU(ex,A);
Eqinsced(ex,A) ..INISCEDE(ex,A)=E=INISCEDE(ex,A-1)+SCEDE(ex,A);
```

```
bilter(A) ..sum((ex),SLOU(ex,A)*PONDE(ex))=E=sum((ex),SCEDE(ex,A)*PONDE(ex)
);
```

****-----EQUATION LIEE A L'EROSION-----**

```
Erosion(ex,A) ..
Sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),EROSI(c,pc,so,ex,t)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,
SO))=E=ERO(ex,A);
Erosiot(A) ..sum(ex,ERO(ex,A)*PONDE(ex))=E=EROST(A);
```

****-----CONTRAINTE ALIMENTATION-----**
--**

```
QDIS.up(ex,An,'olive',s,p,A)=0;
QDIS.up(ex,An,'BLED','grain',p,A)=0;
QDIS.up(ex,An,'BLET','grain',p,A)=0;
QDIS.up(ex,An,'amande',s,p,A)=0;
QCFACH.up(ex,'olive',s,p,A)=0;
QCFACH.up(ex,'amande',s,p,A)=0;
```

```
BESUF(ex,p,A) .. sum((uz,An),BUF(An,p)*EFF(ex,uz,An,p,A)$ufe(an,uz))
=1=sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),UFPAT(c,t,p)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,SO))
+
sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),UFCHACER(c,p,t)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,SO))
+
sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),UFSHAFOI(c,p,t)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,SO))
+
sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),UFSHAFR(c,p,t)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,SO))
+ sum((An,c),QDIS(ex,An,c,'paille',p,A)$pcs(c,'paille')*UFS(c,'paille'))
+ sum((An,c),QDIS(ex,An,c,'foin',p,A)$pcs(c,'foin')*UFS(c,'foin'))
+ sum((An,c),QDIS(ex,An,c,'ensil',p,A)$pcs(c,'ensil')*UFS(c,'ensil'))
+ sum((An,c),QDIS(ex,An,c,'grain',p,A)$pcs(c,'grain')*UFS(c,'grain'))
+ sum(An,QCDIS(ex,An,p,A)*UFCC);
```

```
BESMS(ex,p,A) .. sum((uz,An),BMS(An,p)*EFF(ex,uz,An,p,A)$ufe(an,uz))
=1=sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),MSPAT(c,t,p)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,SO))
+
sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),MSCHACER(c,p,t)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,SO))
+
sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),MSCHAFOI(c,p,t)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,SO))
+
sum((c,so,t,pc)$ (MP(c,t,pc)),MSCHAFR(c,p,t)*X(ex,so,c,pc,t,A)$psex(EX,SO))
+ sum((An,c),QDIS(ex,An,c,'paille',p,A)$pcs(c,'paille')*TMSC(c,'paille'))
+ sum((An,c),QDIS(ex,An,c,'foin',p,A)$pcs(c,'foin')*TMSC(c,'foin'))
```

```

+ sum( (An, c), QDIS(ex, An, c, 'ensil', p, A) $pcs(c, 'ensil') *TMSC(c, 'ensil'))
+ sum( (An, c), QDIS(ex, An, c, 'grain', p, A) $pcs(c, 'grain') *TMSC(c, 'grain'))
+ sum(An, QCDIS(ex, An, p, A) *MSCC);

```

```

BESCON(ex, p, A) .. sum( (An), QCDIS(ex, An, p, A))
=E= sum( (An), QCACH(ex, An, p, A));

```

```

RATIONbov(ex, p, A) ..
sum( (bov, c), QDIS(ex, bov, c, 'grain', p, A) $pcs(c, 'grain') *UFS(c, 'grain'))
+ sum(bov, QCDIS(ex, bov, p, A) *UFCC)
- 0.4*sum( (uzb, bov), EFF(ex, uzb, bov, p, A) *BUF(bov, p))
=e= 0;

```

```

RATIONov(ex, p, A) ..
sum( (ov, c), QDIS(ex, ov, c, 'grain', p, A) $pcs(c, 'grain') *UFS(c, 'grain'))
+ sum(ov, QCDIS(ex, ov, p, A) *UFCC)
- 0.3*sum( (uzo, ov), EFF(ex, uzo, ov, p, A) *BUF(ov, p))
=e= 0;

```

```

patures(ex, p, A) ..
sum( (c, so, t, pc) $ (MP(c, t, pc)), UFPAT(c, t, p) *X(ex, so, c, pc, t, A) $psex(EX, SO))
=E=sum( (An, c), QPAT(ex, An, c, p, A));

```

****-----CONTRAINTE VENTE ET STOCKAGE-----**
--**

****-----VENTE DES CULTURES PAR PERIODE-----**
--**

```

BILAN1(ex, c, s, p, A) .. PR(ex, c, s, p, A) $pcs(c, s)
=e=vec(ex, c, s, p, A) $pcs(c, s)
+ QCSTOfin(ex, c, s, p, A) $pcs(c, s)
- QCSTOini(ex, c, s, p, A) $pcs(c, s)
- STKC(ex, c, s, p, A) $pcs(c, s)
+ sum(An, QDIS(ex, An, c, s, p, A) $pcs(c, s))
- QCFAH(ex, c, s, p, A) $pcs(c, s);

```

****-----STOCK DE CULTURE FIN PERIODE ET FIN DANNEE-----**
--**

```

QCSTOini.up(ex, c, s, p23, A)=0;
STKP1(ex, c, p1, s) .. QCSTOini(ex, c, s, p1, 'A1') $pcs(c, s)=E=QCSTOin(ex, c, s, p1, 'A1')
$pcs(c, s)+QCSTOhp(ex, c, s, 'A1') $pcs(c, s);
STKP2(ex, c, s) .. QCSTOini(ex, c, s, 'p1', 'A2') $pcs(c, s)=E=QCSTOfin(ex, c, s, 'p3', 'A1')
$pcs(c, s);
STKP3(ex, c, s) .. QCSTOini(ex, c, s, 'p1', 'A3') $pcs(c, s)=E=QCSTOfin(ex, c, s, 'p3', 'A2')
$pcs(c, s);

```

```

STKC.up(ex, c, s, p1, A)=0;
STKA1(ex, c, s, A) .. STKC(ex, c, s, 'p2', A) $pcs(c, s)=E=QCSTOfin(ex, c, s, 'p1', A) $pcs(c, s);
STKA2(ex, c, s, A) .. STKC(ex, c, s, 'p3', A) $pcs(c, s)=E=QCSTOfin(ex, c, s, 'p2', A) $pcs(c, s);

```

```

EQSTGRA1(ex, c, p, sc, A) ..
vec(ex, c, sc, p, A) $pcs(c, sc)=l=PR(ex, c, sc, p, A) $pcs(c, sc);
EQSTGRA2(ex, c, p, ss, A) ..
vec(ex, c, ss, p, A) $pcs(c, ss)=l=PR(ex, c, ss, p, A) $pcs(c, ss)*0.7;
EQSTGRA3(ex, c, p, sc, A) ..
vec(ex, c, sc, p, A) $pcs(c, sc)=g=PR(ex, c, sc, p, A) $pcs(c, sc)*0.2;

```

****-----STOCK ANIMAUX DEBUT PERIODE-----**
--**

STKd.up(ex,uz,An,p1,A)=0;

STKde2(ex,uz,An,A) ..
 STKd(ex,uz,An,'p2',A)\$ufe(an,uz)=E=EFF(ex,uz,An,'p1',A);
 STKde3(ex,uz,An,A) ..
 STKd(ex,uz,An,'p3',A)\$ufe(an,uz)=E=EFF(ex,uz,An,'p2',A);

****-----STOCK DEBUT D ANNEE: PASSAGE PER3 A PER1-----**
--**

STKdeb.up(ex,uz,An,p23,A)=0;
 STK1(ex,uz,An) ..
 STKdeb(ex,uz,An,'p1','A2')\$ufe(an,uz)=E=EFF(ex,uz,An,'p3','A1');
 STK2(ex,uz,An) ..
 STKdeb(ex,uz,An,'p1','A3')\$ufe(an,uz)=E=EFF(ex,uz,An,'p3','A2');
 iniSTK(ex,An) ..
 sum(uz,STKdeb(ex,uz,An,'p1','A1')\$ufe(an,uz))=E=EFFI(An,EX);
 EFFTOTAL(ex,uz,p,A) .. sum(An,
 EFF(ex,uz,An,p,A)\$ufe(an,uz))=E=EFFTOT(ex,uz,p,A);

****-----EFFECTIF DES BREBIS ET DES VACHES PAR PERIODE----**
--**

EFBREBIS12(ex,p12,A) .. sum((uzo,brebis),EFF(ex,uzo,brebis,p12,A))
 =E=
 sum((uzo,brebis),STKdeb(ex,uzo,brebis,p12,A)+STKd(ex,uzo,brebis,p12,A)+ovin
 (ex,brebis,uzo,p12,A));

EFBREBIS3(ex,p3,A) .. sum((uzo,brebis),EFF(ex,uzo,brebis,p3,A))
 =E= sum((uzo,brebis),stkd(ex,uzo,brebis,'p3',A)*(1-TRE(UZO)))
 + sum((uzo,antnse2),stkd(ex,uzo,antnse2,'p3',A));

EFVACHE12(ex,p12,A) .. sum((uzb,vache),EFF(ex,uzb,vache,p12,A))
 =E=
 sum((uzb,vache),STKdeb(ex,uzb,vache,p12,A)+STKd(ex,uzb,vache,p12,A)+bovin(e
 x,vache,uzb,p12,A));

EFVACHE3(ex,p3,A) .. sum((uzb,vache),EFF(ex,uzb,vache,p3,A))
 =E= sum((uzb,vache),STKd(ex,uzb,vache,p3,A)*(1-TRE(UZB)))
 + sum((uzb,genis2),stkd(ex,uzb,genis2,'p3',A));

EFFANPRO(ex,UZ,An,A) .. EFF(ex,uz,An,'p2',A)\$uff(an,uz)*TFE(uz)*(1-
 TM(UZ))=E=EFANPRO(ex,UZ,an,A);

****-----VENTE DES BREBIS ET DES VACHES DE REFORMES-----**
--**

vebrebis3(ex,p3,A) .. sum((uzo,brebis),V(ex,uzo,brebis,p3,A))
 =E=sum((uzo,brebis),STKd(ex,uzo,brebis,p3,A)*TRE(UZO));

vebrebis12(ex,p12,A) .. sum((uzo,brebis),V(ex,uzo,brebis,p12,A))=E=0;

vevache3(ex,p3,A) .. sum((uzb,vache),V(ex,uzb,vache,p3,A))
 =E=sum((uzb,vache),STKd(ex,uzb,vache,p3,A)*TRE(UZB));

vevache12(ex,p12,A) .. sum((uzb,vache),V(ex,uzb,vache,p12,A))=E=0;

****-----EFFECTIF BELIER ET DES TAURILLONS PAR PERIODE-----**
--**

```
efbelier12(ex,p12,A) .. sum((uzo,belier),EFF(ex,uzo,belier,p12,A))
=E=
sum((uzo,belier),STKdeb(ex,uzo,belier,p12,A)+STKd(ex,uzo,belier,p12,A)+ovin
(ex,belier,uzo,p12,A));
```

```
efbelier3(ex,p3,A) .. sum((uzo,belier),EFF(ex,uzo,belier,p3,A))
=E= sum((uzo,belier),STKd(ex,uzo,belier,p3,A)*(1-TRE(UZO)))
+ sum((uzo,antns2),EFF(ex,uzo,antns2,'p2',A));
```

```
eftauril12(ex,p12,A) .. sum((uzb,tauri),EFF(ex,uzb,tauri,p12,A))
=E=
sum((uzb,tauri),STKdeb(ex,uzb,tauri,p12,A)+STKd(ex,uzb,tauri,p12,A)+bovin(e
x,tauri,uzb,p12,A));
```

```
eftauril3(ex,p3,A) .. sum((uzb,tauri),EFF(ex,uzb,tauri,p3,A))
=E= sum((uzb,tauri),STKdeb(ex,uzb,tauri,p3,A)*(1-TRE(UZB)))
+ sum((uzb,boufs2),EFF(ex,uzb,boufs2,'p2',A));
```

****-----VENTE DES BELIERS ET DES TAURILLONS DE REFORMES-----**
--**

```
vebelier3(ex,p3,A) .. sum((uzo,belier),V(ex,uzo,belier,p3,A))
=E=sum((uzo,belier),STKd(ex,uzo,belier,p3,A)*TRE(UZO));
```

```
vebelier12(ex,p12,A) .. sum((uzo,belier),V(ex,uzo,belier,p12,A))=E=0;
```

```
vetauril3(ex,p3,A) .. sum((uzb,tauri),V(ex,uzb,tauri,p3,A))
=E=sum((uzb,tauri),STKd(ex,uzb,tauri,p3,A)*TRE(UZB));
```

```
vetauril12(ex,p12,A) .. sum((uzb,tauri),V(ex,uzb,tauri,p12,A))=E=0;
```

****-----EFFECTIF ANTENAISES1 ET GENISSES1 PAR PERIODE-----**
--**

```
elantnse1(ex,p1,A) .. sum((uzo,antnse1),EFF(ex,uzo,antnse1,p1,A))
=E= sum((uzo,agn1),stkdeb(ex,uzo,agn1,'p1',A));
```

```
e23antnse1(ex,p23,A) .. sum((uzo,antnse1),EFF(ex,uzo,antnse1,p23,A))
=E= sum((uzo,antnse1),stkdeb(ex,uzo,antnse1,p23,A));
V.up(ex,uzo,antnse1,p,A)=0;
```

```
elgenise1(ex,p1,A) .. sum((uzb,genis1),EFF(ex,uzb,genis1,p1,A))
=E= sum((uzb,velles),stkdeb(ex,uzb,velles,'p1',A));
```

```
e23genise1(ex,p23,A) .. sum((uzb,genis1),EFF(ex,uzb,genis1,p23,A))
=E= sum((uzb,genis1),stkdeb(ex,uzb,genis1,p23,A));
V.up(ex,uzb,genis1,p,A)=0;
```

****-----EFFECTIF ANTENAISES2 ET GENISSES2 PAR PERIODE-----**
--**

```
elantnse2(ex,p1,A) .. sum((uzo,antnse2),EFF(ex,uzo,antnse2,p1,A))
=E= sum((uzo,antnse1),stkdeb(ex,uzo,antnse1,'p1',A));
```

```
e2antnse2(ex,p2,A) .. sum((uzo,antnse2),EFF(ex,uzo,antnse2,p2,A))
=E=sum((uzo,antnse2),EFF(ex,uzo,antnse2,'p1',A)-V(ex,uzo,antnse2,'p2',A));
```

```
e3antnse2(ex,p3,A) .. sum((uzo,antnse2),EFF(ex,uzo,antnse2,p3,A))
=E=0;
```

```
VENANTNSE(ex,p2,A) .. sum((uzo,antnse2),V(ex,uzo,antnse2,'p2',A))
=E= sum((uzo,antnse2),stkdeb(ex,uzo,antnse2,'p2',A)*(1-TREN(UZO)));
```

v.up(ex,uzo,antnse2,p1,A)=0;
v.up(ex,uzo,antnse2,p3,A)=0;

e1genise2(ex,p1,A) .. sum((uzb,genis2),EFF(ex,uzb,genis2,p1,A))
=E= sum((uzb,genis1),stkdeb(ex,uzb,genis1,'p1',A));

e2genise2(ex,p2,A) .. sum((uzb,genis2),EFF(ex,uzb,genis2,p2,A))
=E=sum((uzb,genis2),EFF(ex,uzb,genis2,'p1',A)-V(ex,uzb,genis2,'p2',A));

e3genise2(ex,p3,A) .. sum((uzb,genis2),EFF(ex,uzb,genis2,p3,A))=E=0;

VENGENISE(ex,p2,A) .. sum((uzb,genis2),V(ex,uzb,genis2,'p2',A))
=E= sum((uzb,genis2),stkdeb(ex,uzb,genis2,'p2',A)*(1-TREN(UZB)));

v.up(ex,uzb,genis2,p1,A)=0;
v.up(ex,uzb,genis2,p3,A)=0;

****-----EFFECTIF ANTNS1 ET BOEUF1 PAR PERIODE-----**
--**

e1antns1(ex,p1,A) .. sum((uzo,antns1),EFF(ex,uzo,antns1,p1,A))
=E= sum((uzo,agnea),stkdeb(ex,uzo,agnea,'p1',A));

e23antns1(ex,p23,A) .. sum((uzo,antns1),EFF(ex,uzo,antns1,p23,A))
=E= sum((uzo,antns1),EFF(ex,uzo,antns1,p23-1,A)-v(ex,uzo,antns1,p23,A));
V.up(ex,uzo,antns1,p,A)=0;

e1boeuf1(ex,p1,A) .. sum((uzb,boufs1),EFF(ex,uzb,boufs1,p1,A))
=E= sum((uzb,VEAUX),stkdeb(ex,uzb,VEAUX,'p1',A));

e23boeuf1(ex,p23,A) .. sum((uzb,boufs1),EFF(ex,uzb,boufs1,p23,A))
=E= sum((uzb,boufs1),EFF(ex,uzb,boufs1,p23-1,A)-v(ex,uzb,boufs1,p23,A));
V.up(ex,uzb,boufs1,p,A)=0;

****-----EFFECTIF ANTNS2 ET BOEUF2 PAR PERIODE-----**
--**

e1antns2(ex,p1,A) .. sum((uzo,antns2),EFF(ex,uzo,antns2,p1,A))
=E= sum((uzo,antns1),stkdeb(ex,uzo,antns1,'p1',A));

e2antns2(ex,p2,A) .. sum((uzo,antns2),EFF(ex,uzo,antns2,p2,A))
=E=sum((uzo,antns2),EFF(ex,uzo,antns2,'p1',A)-V(ex,uzo,antns2,'p2',A));

e3antns2(ex,p3,A) .. sum((uzo,antns2),EFF(ex,uzo,antns2,p3,A))=E= 0;

VENANTNS(ex,p2,A) .. sum((uzo,antns2),V(ex,uzo,antns2,'p2',A))
=E= sum((uzo,antns2),EFF(ex,uzo,antns2,'p1',A)*(1-TREN(UZO)));

v.up(ex,uzo,antns2,p1,A)=0;
v.up(ex,uzo,antns2,p3,A)=0;

e1boeufs2(ex,p1,A) .. sum((uzb,boufs2),EFF(ex,uzb,boufs2,p1,A))
=E= sum((uzb,boufs1),stkdeb(ex,uzb,boufs1,'p1',A));

e2boeufs2(ex,p2,A) .. sum((uzb,boufs2),EFF(ex,uzb,boufs2,p2,A))
=E= sum((uzb,boufs2),EFF(ex,uzb,boufs2,'p1',A)-V(ex,uzb,boufs2,'p2',A));

e3boeufs2(ex,p3,A) .. sum((uzb,boufs2),EFF(ex,uzb,boufs2,p3,A))=E=0;

VENBOEUF2(ex,p2,A) .. sum((uzb,boufs2),V(ex,uzb,boufs2,'p2',A))
=E= sum((uzb,boufs2),EFF(ex,uzb,boufs2,'p1',A)*(1-TREN(UZB)));

v.up(ex,uzb,boufs2,p1,A)=0;

v.up(ex,uzb,boufs2,p3,A)=0;

****--EFFECTIF DES AGNELLES ET DES BROUTARDS FEMELLES PAR PERIODE--****

efagnel1(ex,p1,A) .. sum((uzo,agnl),EFF(ex,uzo,agnl,p1,A))
=E=sum((uzo,brebis),STKDEB(ex,uzo,brebis,p1,A)+ovin(ex,brebis,uzo,p1,A)*TFE(uzo)*(1-TRMF(uzo))*(1-TM(uzo)));

efagnel23(ex,p23,A) .. sum((uzo,agnl),EFF(ex,uzo,agnl,p23,A))
=E=sum((uzo,agnl),STKd(ex,uzo,agnl,p23,A));

V.up(ex,uzo,agnl,p,A)=0;

efvellese1(ex,p1,A) .. sum((uzb,velles),EFF(ex,uzb,velles,p1,A))
=E=sum((uzb,vache),STKDEB(ex,uzb,vache,p1,A)+bovin(ex,vache,uzb,p1,A)*TFE(uzb)*(1-TRMF(uzb))*(1-TM(uzb)));

efvellese23(ex,p23,A) .. sum((uzb,velles),EFF(ex,uzb,velles,p23,A))
=E=sum((uzb,velles),STKd(ex,uzb,velles,p23,A));

V.up(ex,uzb,velles,p,A)=0;

****---EFFECTIF DES AGNEAUX ET DES BROUTARDS MALES PAR PERIODE---**

efagnea1(ex,p1,A) .. sum((uzo,agnea),EFF(ex,uzo,agnea,p1,A))
=E=sum((uzo,brebis),STKDEB(ex,uzo,brebis,p1,A)+ovin(ex,brebis,uzo,p1,A)*TFE(uzo)*(1-TRMF(uzo))*(1-TM(uzo)));

efagnea23(ex,p23,A) .. sum((uzo,agnea),EFF(ex,uzo,agnea,p23,A))
=E=sum((uzo,agnea),STKd(ex,uzo,agnea,p23,A)-v(ex,uzo,agnea,p23,A));

V.up(ex,uzo,agnea,p1,A)=0;

efVEAUXa1(ex,p1,A) .. sum((uzb,VEAUX),EFF(ex,uzb,VEAUX,p1,A))
=E=sum((uzb,vache),STKDEB(ex,uzb,vache,p1,A)+bovin(ex,vache,uzb,p1,A)*TFE(uzb)*(1-TRMF(uzb))*(1-TM(uzb)));

eVEAUXa23(ex,p23,A) .. sum((uzb,VEAUX),EFF(ex,uzb,VEAUX,p23,A))
=E=sum((uzb,VEAUX),STKd(ex,uzb,VEAUX,p23,A)-v(ex,uzb,VEAUX,p23,A));

V.up(ex,uzb,VEAUX,p1,A)=0;

****-----CONTRAINTE TRESORERIE-----**

cashdp1(ex,A) ..CASHP(ex,'p1',A)=E=0;
cashdp2(ex,A) ..CASHP(ex,'p2',A)=E=cash(ex,'p1',A);
cashdp3(ex,A) ..CASHP(ex,'p3',A)=E=cash(ex,'p2',A);
EQTRE1(ex,A) ..TRESHP(ex,'p1',A)=E=TRESin(ex,'p1',A)+TRESihp(ex,A)+someparg(ex,'p3',A-1)+cash(ex,'p3',A-1);
EQTRE2(ex,p23,A) ..TRESHP(ex,p23,A)=E=0;

****-----CONTRAINTE EMPRUNT-----**

****-----REMBOURSEMENT EMPRUNTS CT DANS 1 ANNEE-----**

EMPCTE(ex,A) .. sum(p,EMPCT(ex,p,A)-EMPCTr(ex,p,A))=L=EPS;
EMPCTEDE(ex,A) .. sum(p,EMPCTD(ex,p,A)-EMPCTDr(ex,p,A))=L=EPS;

****-----EMPRUNT MAX AUTORISE-----**
--**
 MAEMCT1 (ex, A) .. sum ((p, so), EMPCT (ex, p, A)) = L = sum ((so, c, t, pc) \$ (MP (c, t, pc)) , X (ex, so, c, pc, t, A) \$ psex (EX, SO) * MAXCCT (c, t)) ;
 MAEMCT2 (ex, A) .. sum ((p, so), EMPCTD (ex, p, A)) = L = sum ((so, c, t, pc) \$ (MP (c, t, pc)) , X (ex, so, c, pc, t, A) \$ psex (EX, SO) * MAXCCTD (c, t)) ;

****-----REMBOURSEMENT<EMPRUNT-----**
--**
 EQREMOU1 (ex, p, A) .. EMPCTr (ex, p, A) = L = somempt (ex, p, A) ;
 EQREMOU2 (ex, p, A) .. EMPCTDr (ex, p, A) = L = somemptd (ex, p, A) ;

EQSOMEMPT (ex, p, A) .. somempt (ex, p, A) = E = empct (ex, p, A) + somendr (ex, p, A) - somendr (ex, p, A) ;
 SOMEM1 (ex, A) .. somend (ex, 'p1', A) = E = 0 ;
 SOMEM2 (ex, A) .. somend (ex, 'p2', A) = E = somempt (ex, 'p1', A) ;
 SOMEM3 (ex, A) .. somend (ex, 'p3', A) = E = somempt (ex, 'p2', A) ;
 SOMEMr1 (ex, A) .. somendr (ex, 'p1', A) = E = 0 ;
 SOMEMr2 (ex, A) .. somendr (ex, 'p2', A) = E = empctr (ex, 'p1', A) ;
 SOMEMr3 (ex, A) .. somendr (ex, 'p3', A) = E = empctr (ex, 'p2', A) ;

EQSOMEMPTd (ex, p, A) .. somemptd (ex, p, A) = E = empctd (ex, p, A) + somendd (ex, p, A) - somendd (ex, p, A) ;
 SOMEMD1 (ex, A) .. somendd (ex, 'p1', A) = E = 0 ;
 SOMEMD2 (ex, A) .. somendd (ex, 'p2', A) = E = somemptd (ex, 'p1', A) ;
 SOMEMD3 (ex, A) .. somendd (ex, 'p3', A) = E = somemptd (ex, 'p2', A) ;
 SOMEMDr1 (ex, A) .. somenddr (ex, 'p1', A) = E = 0 ;
 SOMEMDr2 (ex, A) .. somenddr (ex, 'p2', A) = E = empctdr (ex, 'p1', A) ;
 SOMEMDr3 (ex, A) .. somenddr (ex, 'p3', A) = E = empctdr (ex, 'p2', A) ;

****-----INTERETS PAYES PAR PERIODE-----**
--**
 TOINT (ex, p, A) .. (somempt (ex, p, A) + somemptd (ex, p, A)) * TIC * 1 / 3 = E = INTOT (ex, p, A) ;
 TODECO (ex, A) .. sum (p, empctd (ex, p, A)) = E = DECOUTOT (ex, A) ;

****-----INTERETS RECU PAR PERIODE-----**
--**
 SOEPARG1 (ex, A) .. soeparg (ex, 'p1', A) = E = 0 ;
 SOEPARG2 (ex, A) .. soeparg (ex, 'p2', A) = E = someparg (ex, 'p1', A) ;
 SOEPARG3 (ex, A) .. soeparg (ex, 'p3', A) = E = someparg (ex, 'p2', A) ;
 SOMEPAR (ex, p, A) .. someparg (ex, p, A) = E = eparg (ex, p, A) + soeparg (ex, p, A) ;

TOINTR (ex, p, A) .. someparg (ex, p, A) * TP * 1 / 3 = E = INTOTR (ex, p, A) ;

EQINVLT (ex, A) ..
 sum (TCES, COMPCEsi (TCES, A, EX) * COUCES (TCES, A)) = E = EMPLT (A, 'CES', EX) ;
 *COMPCEs (CES, A, EX)

****-----CONTRAINTES RISQUE-----**
--**
 RISD (ex, An, c, s, p, A)
 .. QDIS (ex, An, c, s, p, A) = E = sum (N, QDISN (ex, An, c, s, p, N, A) * PROB (N)) ;
 RISTF (ex, c, s, p, A) .. QCSTOfin (ex, c, s, p, A) = E = sum (N, QCSTONfi (ex, c, s, p, N, A) * PROB (N)) ;
 RISTI (ex, c, s, p, A) .. QCSTOini (ex, c, s, p, A) = E = sum (N, QCSTOnin (ex, c, s, p, N, A) * PROB (N)) ;
 RISVE (ex, c, s, p, A) .. VEC (ex, c, s, p, A) = E = sum (N, VECN (ex, c, s, p, N, A) * PROB (N)) ;
 RISACH (ex, c, s, p, A) .. QCFACh (ex, c, s, p, A) = E = sum (N, QCFAChN (ex, c, s, p, N, A) * PROB (N)) ;
 EQSTN (ex, c, s, p, A) .. STKC (ex, c, s, p, A) = E = sum (N, STKCN (ex, c, s, p, N, A) * PROB (N)) ;

RISPR(ex,c,s,p,A) .. PR(ex,c,s,p,A)=E=sum(N, PRN(ex,c,s,p,N,A)*PROB(N));
 EQPRON(ex,c,s,p,N,A) .. PRN(ex,c,s,p,N,A)=E=Sum(t,so,pc)\$ (MP(c,t,pc)), RDTN(c,
 ,pc,s,so,p,ex,N,t)\$pcs(c,s)*X(ex,so,c,pc,t,A)\$psex(EX,SO);

QCSTOnin.up(ex,c,s,p23,N,A)=0;
 STKCN.up(ex,c,s,p1,N,A)=0;

BILANR(ex,c,s,p,N,A) .. PRN(ex,c,s,p,N,A)\$pcs(c,s)
 =E=vecn(ex,c,s,p,N,A)\$pcs(c,s)
 + QCSTOnfi(ex,c,s,p,N,A)\$pcs(c,s)
 - QCSTOnin(ex,c,s,p,N,A)\$pcs(c,s)
 - STKCN(ex,c,s,p,N,A)
 + sum(An,QDISN(ex,An,c,s,p,N,A)\$pcs(c,s))
 - QCFACHN(ex,c,s,p,N,A)\$pcs(c,s);

Risk1(EX,N,PI,A) .. Znp(EX,N,PI,A)=E=
 sum((c,sc,p), VECN(ex,c,sc,p,N,A)\$pcs(c,sc)*PCA(c,sc,A)*VPrv(c,sc,PI))
 + sum((c,ss,p), VECN(ex,c,ss,p,N,A)\$pcs(c,ss)*PVCF(c,ss,A)*VPrv(c,ss,PI))
 + sum((c,sc,p), (QCSTOnfi(ex,c,sc,p,N,A)-QCSTOnin(ex,c,sc,p,N,A)-
 STKCN(ex,c,sc,p,N,A))\$pcs(c,sc)*PCA(c,sc,A)\$pav(c,sc)*VPrv(c,sc,PI)*0.8)
 + sum((c,ss,p), (QCSTOnfi(ex,c,ss,p,N,A)-QCSTOnin(ex,c,ss,p,N,A)-
 STKCN(ex,c,ss,p,N,A))\$pcs(c,ss)*PVSF(c,ss,A)*VPrv(c,ss,PI))
 +sum(uz,an,L), PAA(UZ,l,A)*prd(an,L)*EFANPRO(ex,uz,an,A)\$uff(an,uz)*
 VPrA(UZ,L,PI))
 + sum(uz,an,VI,p), PAA(UZ,vi,A)*prd(an,Vi)*v(ex,uz,an,p,A)\$ufe(an,uz)*
 VPrA(UZ,Vi,PI))
 - sum((c,so,s,t,pc)\$ (MP(c,t,pc)), CHOvN(c,pc,s,so,ex,N,t,A)\$pcs(c,s)*
 X(ex,so,c,pc,t,A)\$psex(EX,SO))
 - sum(uz,An,p), CHOAn(ex,An,A)*EFF(ex,uz,An,p,A)\$ufe(an,uz))
 - sum(An,p), QCACH(ex,An,p,A)*PACC(A))
 - sum((c,sc,p), QCFACH(ex,c,sc,p,A)*PCA(c,sc,A)*1.25*VPrv(c,sc,PI))
 - sum((c,ss,p), QCFACH(ex,c,ss,p,A)*PRACF(c,ss,A)*VPrv(c,ss,PI))
 + sum(p,INTOTR(ex,p,A))
 - sum(p,INTOT(ex,p,A))
 - sum(ALC,EMPLT(A,ALC,EX)*(AM(ALC)+TIL(ALC)/2))
 + sum(p,NMP(EX,P)*CUP(A)+CF(ex,A))
 + sum((TSM,p), HTCED(ex,p,TSM,A)*PLM(TSM,A)*0.90)
 + sum((p), MOCED(ex,p,A)*PLMO(A)*0.90)
 + (INISCEDE(ex,A)+SCEDE(ex,A))*PLT(A)*0.90
 - sum((TSM,p), HTLOU(ex,p,TSM,A)*PLM(TSM,A))
 - sum((p), MOLOU(ex,p,A)*PLMO(A))
 - (INISLOU(EX,A)+SLOU(ex,A))*PLT(A);

Risk2(EX,N,PI,A) .. DEV(EX,N,PI,A)=E=Za(EX,A)-Znp(EX,N,PI,A);

****-----EQUATIONS DE CALCUL DES PRIX-----**
--**

PRIX1(c,sc,A) .. PCA(c,sc,A)\$pav(c,sc)=E=(PVC(c,sc,A)+PVChp(c,sc,A)+PVO(c,sc,
 A-1))\$pav(c,sc);
 PRIX2(UZ,M,A) .. PAA(UZ,M,A)\$span(UZ,M)=E=(PVAn(UZ,M,A)+PVAhp(UZ,M,A)+PAO(UZ,M,
 A-1))\$span(UZ,M);
 PRIX3(c,sc,A) .. PVO(c,sc,A)\$pav(c,sc)=E=BEV(c,sc,A)\$pav(c,sc)+ALV(c,sc,A)*PR
 ODREV(c,sc,A)\$pav(c,sc);
 PRIX4(UZ,M,A) .. PAO(UZ,M,A)\$span(UZ,M)=E=BEA(UZ,M,A)\$span(UZ,M)+ALA(UZ,M,A)*PR
 ODREA(UZ,M,A)\$span(UZ,M);

****-----LES OPTIONS-----**
--**

U.scale=power(10,4);
 UTIHP.scale(ex)=power(10,3);
 RNEHP.scale(ex)=power(10,3);
 RNEcul.scale(ex,A)=power(10,3);
 RNEani.scale(ex,A)=power(10,3);
 RNEfin.scale(ex,A)=power(10,3);

```

RNEA.scale(ex,A)=power(10,3);
CASHFLOW.scale(ex,p,A)=power(10,3);
PRIX3.scale(c,sc,A)=power(10,1);
ECART.scale(ex,A)=power(10,2);
PRODREA.scale(UZ,vi,A)=power(10,4);
PROREGV.scale(c,s,A)=power(10,2);
X.scale(ex,so,c,pc,t,A)=power(10,-2);
VEC.scale(ex,c,s,p,A)=power(10,-2);
v.scale(ex,uz,an,p,A)=power(10,-2);
QCFACH.scale(ex,c,sc,p,A)=power(10,-2);

```

```

**-----RESOLUTION-----
--**

```

```

model kamel/ all/;

```

```

**-----PARAMETRE RESULTAT-----
--**

```

```

PARAMETER RESULT1(*,*,*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULT1:2:7:1;
PARAMETER RESULTV(*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULTV:2:5:1;
PARAMETER RESULTA(*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULTA:2:5:1;
PARAMETER RESULTAP(*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULTAP:2:5:1;
PARAMETER RESULTP(*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULTP:2:5:1;
PARAMETER RESULTV1(*,*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULTV1:2:5:1;
PARAMETER RESULTA1(*,*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULTA1:2:5:1;
PARAMETER RESULTR(*,*,*,*,*);
OPTION RESULTR:2:4:1;
PARAMETER RESULT2(*,*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULT2:2:6:1;
PARAMETER RESULT3(*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULT3:2:5:1;
PARAMETER RESULT4(*,*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULT4:2:6:1;
PARAMETER RESULT5(*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULT5:2:5:1;
PARAMETERS RESULT6(*,*,*,*,*,*,*);
OPTION RESULT6:2:5:1;
PARAMETER WELFARE(*,*,*);
OPTION WELFARE:2:2:1;
PARAMETER OBJECTIF(*,*) ;
OPTION OBJECTIF:1:1:1;
PARAMETER ASSOL(*,*,*,*,*,*,*);
OPTION ASSOL:2:6:1;

```

```

**-----LES LOOPS-----
--**

```

```

File res/resu.dat/;
put res;
put "MODEL DE PROGRAMMATION - LANGAGE GAMS /MULTIPERIODIQUE-RECURSIF"/
put :20, "Annee":85, " 1999                2000                2001
2002                2003                2004 "/

```

```

Loop(AC,

```

CF(ex,A1)=Cfti(ex,AC);
CF(ex,A2)=Cfti(ex,AC+1);
CF(ex,A3)=Cfti(ex,AC+2);

CUP(A1)=CUPti(AC);
CUP(A2)=CUPti(AC+1);
CUP(A3)=CUPti(AC+2);

ALA(UZ,M,A1)=ALAti(UZ,M,AC);
ALA(UZ,M,A2)=ALAti(UZ,M,AC+1);
ALA(UZ,M,A3)=ALAti(UZ,M,AC+2);

BEA(UZ,M,A1)=BEAti(UZ,M,AC);
BEA(UZ,M,A2)=BEAti(UZ,M,AC+1);
BEA(UZ,M,A3)=BEAti(UZ,M,AC+2);

ALV(c,sc,A1)=ALVti(c,sc,AC);
ALV(c,sc,A2)=ALVti(c,sc,AC+1);
ALV(c,sc,A3)=ALVti(c,sc,AC+2);

BEV(c,sc,A1)=BEVti(c,sc,AC);
BEV(c,sc,A2)=BEVti(c,sc,AC+1);
BEV(c,sc,A3)=BEVti(c,sc,AC+2);

PLM(TSM,A1)=PLMti(TSM,AC);
PLM(TSM,A2)=PLMti(TSM,AC+1);
PLM(TSM,A3)=PLMti(TSM,AC+2);

PLT(A1)=PLTti(AC);
PLT(A2)=PLTti(AC+1);
PLT(A3)=PLTti(AC+2);

PLMO(A1)=PLMOTi(AC);
PLMO(A2)=PLMOTi(AC+1);
PLMO(A3)=PLMOTi(AC+2);

PVAn(UZ,M,A1)=PVAnti(UZ,M,AC);

PVC(c,sc,A1)=PVCTi(c,sc,AC);

PVCF(c,ss,A1)=PVCFti(c,ss,AC);
PVCF(c,ss,A2)=PVCFti(c,ss,AC+1);
PVCF(c,ss,A3)=PVCFti(c,ss,AC+2);

CHOV(c,pc,s,so,ex,t,A1)=CHOVti(c,pc,s,so,ex,t,AC);
CHOV(c,pc,s,so,ex,t,A2)=CHOVti(c,pc,s,so,ex,t,AC+1);
CHOV(c,pc,s,so,ex,t,A3)=CHOVti(c,pc,s,so,ex,t,AC+2);

CHOVn(c,pc,s,so,ex,N,t,A1)=CHOVnti(c,pc,s,so,ex,N,t,AC);
CHOVn(c,pc,s,so,ex,N,t,A2)=CHOVnti(c,pc,s,so,ex,N,t,AC+1);
CHOVn(c,pc,s,so,ex,N,t,A3)=CHOVnti(c,pc,s,so,ex,N,t,AC+2);

ovin(ex,An,uz,p,A1)=ovini(ex,An,uz,p,AC);
ovin(ex,An,uz,p,A2)=ovini(ex,An,uz,p,AC+1);
ovin(ex,An,uz,p,A3)=ovini(ex,An,uz,p,AC+2);

bovin(ex,An,uz,p,A1)=bovini(ex,An,uz,p,AC);
bovin(ex,An,uz,p,A2)=bovini(ex,An,uz,p,AC+1);
bovin(ex,An,uz,p,A3)=bovini(ex,An,uz,p,AC+2);

CHOAn(ex,An,A1)=CHOAnti(ex,An,AC);
CHOAn(ex,An,A2)=CHOAnti(ex,An,AC+1);
CHOAn(ex,An,A3)=CHOAnti(ex,An,AC+2);

```
PACC(A1)=PACCti(AC);
PACC(A2)=PACCti(AC+1);
PACC(A3)=PACCti(AC+2);
```

```
PRAC(c,sc,A1)=PRACti(c,sc,AC);
PRAC(c,sc,A2)=PRACti(c,sc,AC+1);
PRAC(c,sc,A3)=PRACti(c,sc,AC+2);
```

```
PVS(c,sc,A1)=PVSti(c,sc,AC);
PVS(c,sc,A2)=PVSti(c,sc,AC+1);
PVS(c,sc,A3)=PVSti(c,sc,AC+2);
```

```
PRACF(c,ss,A1)=PRACFti(c,ss,AC);
PRACF(c,ss,A2)=PRACFti(c,ss,AC+1);
PRACF(c,ss,A3)=PRACFti(c,ss,AC+2);
```

```
PVSF(c,ss,A1)=PVSFti(c,ss,AC);
PVSF(c,ss,A2)=PVSFti(c,ss,AC+1);
PVSF(c,ss,A3)=PVSFti(c,ss,AC+2);
```

```
COMPCEsi(TCES,A1,EX)=COMPCEsii(TCES,AC,EX);
COMPCEsi(TCES,A2,EX)=COMPCEsii(TCES,AC+1,EX);
COMPCEsi(TCES,A3,EX)=COMPCEsii(TCES,AC+2,EX);
```

```
COUCES(TCES,A1)=COUCEsti(TCES,AC);
COUCES(TCES,A2)=COUCEsti(TCES,AC+1);
COUCES(TCES,A3)=COUCEsti(TCES,AC+2);
```

```
QCSTOin(ex,c,s,p,A1)=QCSTOi(ex,c,s,p,AC);
TRESin(ex,p,A1)=TRESi(ex,p,AC);
```

```
SAU(ex,A1)=SAUi(ex,AC);
SACP(pc,A1,ex,so)=SACPi(pc,AC,ex,so);
```

```
PROP(ex,A1)=PROPi(ex,AC);
PROP(ex,A2)=PROPi(ex,AC+2);
PROP(ex,A2)=PROPi(ex,AC+3);
```

****-----LES OPTIONS-----**

--**

```
kamel.scaleopt=1;
kamel.workspace=1000;
kamel.reslim=60000;
kamel.optfile=0;
kamel.optfile=1;
solve kamel using NLP maximizing U;
```

****-----AFFICHAGE DES RESULTATS-----**

--**

```
RESULT1(SO,'BLED',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'BLED',pc,t,A);
RESULT1(SO,'BLET',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'BLET',pc,t,A);
RESULT1(SO,'ORGE',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'ORGE',pc,t,A);
RESULT1(SO,'ORGEV',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'ORGEV',pc,t,A);
RESULT1(SO,'AVOINE',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'AVOINE',pc,t,A);
RESULT1(SO,'OLIVE',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'OLIVE',pc,t,A);
RESULT1(SO,'AMANDE',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'AMANDE',pc,t,A);
RESULT1(SO,'MEDICA',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'MEDICA',pc,t,A);
RESULT1(SO,'JACH',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'JACH',pc,t,A);
RESULT1(SO,'POTERRE',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'POTERRE',pc,t,A);
RESULT1(SO,'TOMATE',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'TOMATE',pc,t,A);
RESULT1(SO,'PARCOURS',pc,'Ha',t,A,AC,ex)=X.L(ex,so,'PARCOURS',pc,t,A);
```

```

RESULT1(SO, 'PASTEQ', pc, 'Ha', t, A, AC, ex)=X.L(ex, so, 'PASTEQ', pc, t, A);

RESULTV('productv', 'T', c, s, A, AC)=PRODREV.L(c, s, A);
RESULTA('productan', 'T', UZ, M, A, AC)=PRODREA.L(UZ, M, A);
RESULTV1('PRODUCT', 'T', ex, c, s, A, AC)=PRODEXV.L(ex, c, s, A);
RESULTA1('PRODUCT', 'T', ex, UZ, M, A, AC)=PRODEXA.L(ex, UZ, M, A);
RESULTA1('HTCED', 'heure', ex, p, TSM, A, AC)=HTCED.l(ex, p, TSM, A);
RESULTA1('HTLOUEE', 'heure', ex, p, TSM, A, AC)=HTLOU.l(ex, p, TSM, A);
RESULTP('prix', 'DT', c, sc, A, AC)=PVO.L(c, sc, A);
RESULTP('prix', 'DT', UZ, M, A, AC)=PAO.L(UZ, M, A);
RESULTP('EMPUNLT', 'DT', ALC, ex, A, AC)=EMPLT.l(A, ALC, EX);

RESULTAP('effectif', 'allait', ex, uz, A, AC)=sum(An, EFANPRO.L(ex, uz, an, A));
RESULTAP('effectif', 'vente', ex, uz, A, AC)=sum((An, p), V.L(ex, uz, an, p, A));

RESULTR('Rculture', 'DT', A, AC, ex)=Zc.L(ex, A);
RESULTR('Ranimal', 'DT', A, AC, ex)=Zan.L(ex, A);
RESULTR('Rfinancier', 'DT', A, AC, ex)=Zfi.L(ex, A);
RESULTR('Rannuel', 'DT', A, AC, ex)=Za.L(ex, A);
RESULTR('Rtotal', 'DT', A, AC, ex)=Zhp.L(ex);
RESULTR('EMPUNLT', 'DT', A, AC, ALC, ex)=EMPLT(A, ALC, EX);
RESULTR('EROSION', 'T', A, AC, ex)=ERO.L(ex, A);
RESULTR('Tlouee', 'ha', A, AC, ex)=SLOU.L(ex, A);
RESULTR('Tcedee', 'ha', A, AC, ex)=SCEDE.L(ex, A);

ASSOL(SO, 'BLED', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'BLED', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'BLET', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'BLET', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'ORGE', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'ORGE', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'ORGEV', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'ORGEV', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'AVOINE', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'AVOINE', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'OLIVE', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'OLIVE', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'AMANDE', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'AMANDE', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'MEDICA', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'MEDICA', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'JACH', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'JACH', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'POTERRE', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'POTERRE', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'TOMATE', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'TOMATE', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'PARCOURS', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'PARCOURS', pc, t, A));
ASSOL(SO, 'PASTEQ', 'Ha', t, A, AC, ex)=sum(pc, X.L(ex, so, 'PASTEQ', pc, t, A));

RESULT2('BRE', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'BRE', p, A);
RESULT2('AGNE', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'AGNE', p, A);
RESULT2('AGNL', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'AGNL', p, A);
RESULT2('ANTSE1', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'ANTSE1', p, A);
RESULT2('ANTS1', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'ANTS1', p, A);
RESULT2('ANTSE2', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'ANTSE2', p, A);
RESULT2('ANTS2', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'ANTS2', p, A);
RESULT2('BEL', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'BEL', p, A);

RESULT2('VACH', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'VACH', p, A);
RESULT2('VEAU', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'VEAU', p, A);
RESULT2('VELLE', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'VELLE', p, A);
RESULT2('GEN1', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'GEN1', p, A);
RESULT2('BOUF1', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'BOUF1', p, A);
RESULT2('GEN2', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'GEN2', p, A);
RESULT2('BOUF2', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'BOUF2', p, A);
RESULT2('TAUR', 'effectif', uz, p, A, AC, ex)=EFF.L(ex, uz, 'TAUR', p, A);

RESULT2('BRE', 'vente', uz, p, A, AC, ex)=V.L(ex, uz, 'BRE', p, A);
RESULT2('AGNE', 'vente', uz, p, A, AC, ex)=V.L(ex, uz, 'AGNE', p, A);
RESULT2('AGNL', 'vente', uz, p, A, AC, ex)=V.L(ex, uz, 'AGNL', p, A);
RESULT2('BEL', 'vente', uz, p, A, AC, ex)=V.L(ex, uz, 'BEL', p, A);
RESULT2('ANTSE1', 'vente', uz, p, A, AC, ex)=V.L(ex, uz, 'ANTSE1', p, A);
RESULT2('ANTS1', 'vente', uz, p, A, AC, ex)=V.L(ex, uz, 'ANTS1', p, A);
RESULT2('ANTSE2', 'vente', uz, p, A, AC, ex)=V.L(ex, uz, 'ANTSE2', p, A);
RESULT2('ANTS2', 'vente', uz, p, A, AC, ex)=V.L(ex, uz, 'ANTS2', p, A);

```

```
RESULT2 ('VACH', 'vente', uz, p, A, AC, ex) = V.L (ex, uz, 'VACH', p, A) ;
RESULT2 ('VEAU', 'Vente', uz, p, A, AC, ex) = V.L (ex, uz, 'VEAU', p, A) ;
RESULT2 ('VELLE', 'Vente', uz, p, A, AC, ex) = V.L (ex, uz, 'VELLE', p, A) ;
RESULT2 ('GEN1', 'Vente', uz, p, A, AC, ex) = V.L (ex, uz, 'GEN1', p, A) ;
RESULT2 ('BOUF1', 'Vente', uz, p, A, AC, ex) = V.L (ex, uz, 'BOUF1', p, A) ;
RESULT2 ('GEN2', 'Vente', uz, p, A, AC, ex) = V.L (ex, uz, 'GEN2', p, A) ;
RESULT2 ('BOUF2', 'Vente', uz, p, A, AC, ex) = V.L (ex, uz, 'BOUF2', p, A) ;
RESULT2 ('TAUR', 'Vente', uz, p, A, AC, ex) = V.L (ex, uz, 'TAUR', p, A) ;

RESULT2 ('BRE', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'BRE', p, A) ;
RESULT2 ('AGNE', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'AGNE', p, A) ;
RESULT2 ('AGNL', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'AGNL', p, A) ;
RESULT2 ('ANTSE1', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'ANTSE1', p, A) ;
RESULT2 ('ANTS1', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'ANTS1', p, A) ;
RESULT2 ('ANTSE2', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'ANTSE2', p, A) ;
RESULT2 ('ANTS2', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'ANTS2', p, A) ;
RESULT2 ('BEL', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'BEL', p, A) ;

RESULT2 ('VACH', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'VACH', p, A) ;
RESULT2 ('VEAU', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'VEAU', p, A) ;
RESULT2 ('VELLE', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'VELLE', p, A) ;
RESULT2 ('GEN1', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'GEN1', p, A) ;
RESULT2 ('BOUF1', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'BOUF1', p, A) ;
RESULT2 ('GEN2', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'GEN2', p, A) ;
RESULT2 ('BOUF2', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'BOUF2', p, A) ;
RESULT2 ('TAUR', 'stokd', uz, p, A, AC, ex) = STKd.L (ex, uz, 'TAUR', p, A) ;

RESULT2 ('BRE', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'BRE', p, A) ;
RESULT2 ('AGNE', uz, 'stockdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'AGNE', p, A) ;
RESULT2 ('AGNL', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'AGNL', p, A) ;
RESULT2 ('ANTSE1', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'ANTSE1', p, A) ;
RESULT2 ('ANTS1', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'ANTS1', p, A) ;
RESULT2 ('ANTSE2', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'ANTSE2', p, A) ;
RESULT2 ('ANTS2', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'ANTS2', p, A) ;
RESULT2 ('BEL', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'BEL', p, A) ;

RESULT2 ('VACH', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'VACH', p, A) ;
RESULT2 ('VEAU', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'VEAU', p, A) ;
RESULT2 ('VELLE', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'VELLE', p, A) ;
RESULT2 ('GEN1', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'GEN1', p, A) ;
RESULT2 ('BOUF1', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'BOUF1', p, A) ;
RESULT2 ('GEN2', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'GEN2', p, A) ;
RESULT2 ('BOUF2', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'BOUF2', p, A) ;
RESULT2 ('TAUR', uz, 'stokdeb', p, A, AC, ex) = STKdeb.L (ex, uz, 'TAUR', p, A) ;

RESULT3 ('BRE', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = QCDIS.L (ex, 'BRE', p, A) ;
RESULT3 ('AGNE', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = QCDIS.L (ex, 'AGNE', p, A) ;
RESULT3 ('AGNL', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = QCDIS.L (ex, 'AGNL', p, A) ;
RESULT3 ('ANTSE1', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = QCDIS.L (ex, 'ANTSE1', p, A) ;
RESULT3 ('ANTS1', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = QCDIS.L (ex, 'ANTS1', p, A) ;
RESULT3 ('ANTSE2', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = QCDIS.L (ex, 'ANTSE2', p, A) ;
RESULT3 ('ANTS2', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = QCDIS.L (ex, 'ANTS2', p, A) ;
RESULT3 ('BEL', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = QCDIS.L (ex, 'BEL', p, A) ;
RESULT3 ('CONACHETE', 'Qconachet', p, A, AC, ex) = sum (An, QCACH.L (ex, An, p, A)) ;
RESULT3 ('CONDIS', 'Qcondistri', p, A, AC, ex) = sum (An, QCDIS.L (ex, An, p, A)) ;

RESULT4 (c, 'GRAIN', 'Qdist', p, A, AC, ex) = sum (An, QDIS.L (ex, An, c, 'GRAIN', p, A)) ;
RESULT4 (c, 'FOIN', 'Qdist', p, A, AC, ex) = sum (An, QDIS.L (ex, An, c, 'FOIN', p, A)) ;
RESULT4 (c, 'ENSIL', 'Qdist', p, A, AC, ex) = sum (An, QDIS.L (ex, An, c, 'ENSIL', p, A)) ;
RESULT4 (c, 'PAILLE', 'Qdist', p, A, AC, ex) = sum (An, QDIS.L (ex, An, c, 'PAILLE', p, A)) ;

RESULT4 (c, 'GRAIN', 'produite', p, A, AC, ex) = PR.L (ex, c, 'GRAIN', p, A) ;
RESULT4 (c, 'FOIN', 'produite', p, A, AC, ex) = PR.L (ex, c, 'FOIN', p, A) ;
```

```

RESULT4 (c, 'ENSIL', 'produite', p, A, AC, ex) = PR.L (ex, c, 'ENSIL', p, A);
RESULT4 (c, 'PAILLE', 'produite', p, A, AC, ex) = PR.L (ex, c, 'PAILLE', p, A);

RESULT4 (c, 'GRAIN', 'vendue', p, A, AC, ex) = VEC.L (ex, c, 'GRAIN', p, A);
RESULT4 (c, 'FOIN', 'vendue', p, A, AC, ex) = VEC.L (ex, c, 'FOIN', p, A);
RESULT4 (c, 'ENSIL', 'vendue', p, A, AC, ex) = VEC.L (ex, c, 'ENSIL', p, A);
RESULT4 (c, 'PAILLE', 'vendue', p, A, AC, ex) = VEC.L (ex, c, 'PAILLE', p, A);

RESULT4 (c, 'GRAIN', 'Qacheter', p, A, AC, ex) = QCFACH.L (ex, c, 'GRAIN', p, A);
RESULT4 (c, 'FOIN', 'Qacheter', p, A, AC, ex) = QCFACH.L (ex, c, 'FOIN', p, A);
RESULT4 (c, 'ENSIL', 'Qacheter', p, A, AC, ex) = QCFACH.L (ex, c, 'ENSIL', p, A);
RESULT4 (c, 'PAILLE', 'Qacheter', p, A, AC, ex) = QCFACH.L (ex, c, 'PAILLE', p, A);

RESULT4 (c, 'GRAIN', 'Qstofin', p, A, AC, ex) = QCSTOfin.L (ex, c, 'GRAIN', p, A);
RESULT4 (c, 'FOIN', 'Qstofin', p, A, AC, ex) = QCSTOfin.L (ex, c, 'FOIN', p, A);
RESULT4 (c, 'ENSIL', 'Qstofin', p, A, AC, ex) = QCSTOfin.L (ex, c, 'ENSIL', p, A);
RESULT4 (c, 'PAILLE', 'Qstofin', p, A, AC, ex) = QCSTOfin.L (ex, c, 'PAILLE', p, A);

RESULT4 (c, 'GRAIN', 'stockin', p, A, AC, ex) = QCSTOini.L (ex, c, 'GRAIN', p, A);
RESULT4 (c, 'FOIN', 'stockin', p, A, AC, ex) = QCSTOini.L (ex, c, 'FOIN', p, A);
RESULT4 (c, 'ENSIL', 'stockin', p, A, AC, ex) = QCSTOini.L (ex, c, 'ENSIL', p, A);
RESULT4 (c, 'PAILLE', 'stockin', p, A, AC, ex) = QCSTOini.L (ex, c, 'PAILLE', p, A);

RESULT5 ('emprunt', 'DT', p, A, AC, ex) = EMPCT.L (ex, p, A);
RESULT5 ('emprunt dec', 'DT', p, A, AC, ex) = EMPCTD.L (ex, p, A);
RESULT5 ('Int payes', 'DT', p, A, AC, ex) = INTOT.L (ex, p, A);
RESULT5 ('epargne', 'DT', p, A, AC, ex) = SOMEPARG.L (ex, p, A);
RESULT5 ('Int recus', 'DT', p, A, AC, ex) = INTOTR.L (ex, p, A);
RESULT5 ('CASHFLOW', 'DT', p, A, AC, ex) = CASH.L (ex, p, A);
RESULT5 ('tresorerie', 'DT', p, A, AC, ex) = TRESHP.L (ex, p, A);
RESULT5 ('MOlouee', 'jours', p, A, AC, ex) = MOLOU.L (ex, p, A);
RESULT5 ('MOcedee', 'jours', p, A, AC, ex) = MOCED.L (ex, p, A);

RESULT6 ('dev', N, PI, A, AC, ex) = dev.L (EX, N, PI, A);
RESULT6 ('eftotal', uz, p, A, AC, ex) = EFFTOT.L (ex, uz, p, A);

WELFARE ('erostotal', A, AC) = EROST.L (A);
WELFARE ('B.ETRE', A, AC) = W.L (A);
OBJECTIF ('SOLUOPT', AC) = U.L;

DISPLAY RESULT2;
DISPLAY ASSOL;
DISPLAY RESULT3;
DISPLAY RESULT4;
DISPLAY RESULT5;
DISPLAY RESULT6;
DISPLAY RESULT1;
DISPLAY RESULTV;
DISPLAY RESULTA;
DISPLAY RESULTV1;
DISPLAY RESULTA1;
DISPLAY RESULTAP;
DISPLAY RESULTP;
DISPLAY RESULTR;
DISPLAY ASSOL;
DISPLAY WELFARE;
DISPLAY OBJECTIF;

**-----RECURSIVITE-----
--**
EFFI (An, ex) = sum (uz, EFF.l (ex, uz, An, 'p3', 'A1'));
QCSTOhp (ex, c, s, 'A1') $pav (c, s) = Qcstofin.l (ex, c, s, 'p3', 'A1') $pav (c, s);
INISLOU (ex, 'A1') = INISLOU (ex, 'A1') + SLOU.L (ex, 'A1');
INISCEDE (ex, 'A1') = INISCEDE (ex, 'A1') + SCEDE.L (ex, 'A1');

```

```

*Tresihp(ex, 'A1')=TRESHP.L(ex, 'p1', 'A2');
SHAihp(ex, 'A1')=sum((c, so, t, pc)$ (MP(c, t, pc)), X.L(ex, so, c, pc, t, 'A1'));

SAGC(c, 'A1', ex, so)=sum((pc, t)$ (MP(c, t, pc)), X.L(ex, so, c, pc, t, 'A1'));
PVChp(c, sc, 'A1')=PVO.l(c, sc, 'A1');
PVAhp(UZ, M, 'A1')=PAO.l(UZ, M, 'A1');

Tresihp(ex, 'A1')=sum((c, sc), VEC.l(ex, c, sc, 'p3', 'A1')$pcs(c, sc)*PCA.l(c, sc, 'A1'))
+ sum((c, ss), VEC.l(ex, c, ss, 'p3', 'A1')$pcs(c, ss)*PVCF(c, ss, 'A1'))
+
sum((uz, an, L), PAA.l(uz, L, 'A1')*prd(an, L)*EFANPRO.l(ex, uz, an, 'A1')$uff(an, uz)) /3
+
sum((uz, an, VI), PAA.l(uz, Vi, 'A1')*prd(an, Vi)*v.l(ex, uz, an, 'p3', 'A1')$ufe(an, uz))
- sum((c, so, s, t, pc)$ (MP(c, t, pc)), CHOV(c, pc, s, so, ex, t, 'A1')$pcs(c, s)*X.l(ex, so, c, pc, t, 'A1')$psex(EX, SO)) /3
- sum((uz, An), CHOAn(ex, An, 'A1')*EFF.l(ex, uz, An, 'p3', 'A1')$ufe(an, uz))
- sum(An, QCACH.l(ex, An, 'p3', 'A1')*PACC('A1'))
- sum((c, sc), QCFACH.l(ex, c, sc, 'p3', 'A1')$pcs(c, sc)*PCA.l(c, sc, 'A1')*1.25)
- sum((c, ss), QCFACH.l(ex, c, ss, 'p3', 'A1')$pcs(c, ss)*PRACF(c, ss, 'A1'))
- sum(ALC, EMPLT.l('A1', ALC, EX)*(AM(ALC)+TIL(ALC)/2))/3
- INTOT.l(ex, 'p3', 'A1')
- CF(ex, 'A1')/3
- NMP(EX, 'p3')*CUP('A1')
+ INTOTR.l(ex, 'p3', 'A1')
+ sum(TSM, HTCED.l(ex, 'p3', TSM, 'A1')*PLM(TSM, 'A1')*0.90)
+ MOCED.l(ex, 'p3', 'A1')*PLMO('A1')*0.90
+ (INISCEDE(ex, 'A1')+SCEDE.l(ex, 'A1'))*PLT('A1')*0.90/3
- sum(TSM, HTLOU.l(ex, 'p3', TSM, 'A1')*PLM(TSM, 'A1'))
- MOLOU.l(ex, 'p3', 'A1')*PLMO('A1')
- (INISLOU(EX, 'A1')+SLOU.l(ex, 'A1'))*PLT('A1')/3
+ EMPCT.l(ex, 'p3', 'A1')+EMPCTD.l(ex, 'p3', 'A1')-EMPCTr.l(ex, 'p3', 'A1')
- EMPCTDr.l(ex, 'p3', 'A1')
+ CASHP.l(ex, 'p3', 'A1')
+ TRESHP.l(ex, 'p3', 'A1')
+ REVE(ex, 'p3', 'A1')
- PRELEV(ex, 'p3', 'A1')
- EPARG.l(ex, 'p3', 'A1')
+ someparg.l(ex, 'p3', 'A1');

```

****-----CONSTITUTION DU FICHIER DE RESULTATS-----**
--**

Put///;

```

Put$( (OBJECTIF('SOLUOPT', '1999') or OBJECTIF('SOLUOPT', '2000')
or OBJECTIF('SOLUOPT', '2001') or OBJECTIF('SOLUOPT', '2002')
or OBJECTIF('SOLUOPT', '2003') or OBJECTIF('SOLUOPT', '2004'))ne 0)
"SOLUOPT (DT)":85,
OBJECTIF('SOLUOPT', '1999'), OBJECTIF('SOLUOPT', '2000'),
OBJECTIF('SOLUOPT', '2001'), OBJECTIF('SOLUOPT', '2002'),
OBJECTIF('SOLUOPT', '2003'), OBJECTIF('SOLUOPT', '2004')
"":1/;

```

Put///;

```

Loop(A,
Put$( (WELFARE('erostotal', A, '1999') or WELFARE('erostotal', A, '2000')
or WELFARE('erostotal', A, '2001') or WELFARE('erostotal', A, '2002')
or WELFARE('erostotal', A, '2003') or WELFARE('erostotal', A, '2004'))ne 0)
"EROSIONTOTAL (T)":30, A.tl:55,
WELFARE('erostotal', A, '1999'), WELFARE('erostotal', A, '2000'),

```

```
WELFARE('erostotal',A,'2001'),WELFARE('erostotal',A,'2002'),  
WELFARE('erostotal',A,'2003'),WELFARE('erostotal',A,'2004')  
"":1/;
```

```
*Put$((WELFARE('B.ETRE',A,'1999') or WELFARE('B.ETRE',A,'2000')  
*or WELFARE('B.ETRE',A,'2001') or WELFARE('B.ETRE',A,'2002')  
*or WELFARE('B.ETRE',A,'2003') or WELFARE('B.ETRE',A,'2004'))ne 0)  
*"B.ETRE (DT)":30,A.tl:55,  
*WELFARE('B.ETRE',A,'1999'),WELFARE('B.ETRE',A,'2000'),  
*WELFARE('B.ETRE',A,'2001'),WELFARE('B.ETRE',A,'2002'),  
*WELFARE('B.ETRE',A,'2003'),WELFARE('B.ETRE',A,'2004')  
*"":1/;
```

```
Put///;
```

```
Loop(M,  
put$((RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'1999') or  
RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2000')  
or RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2001') or  
RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2002')  
or RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2003') or  
RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2004'))ne 0)  
"Prod.ovine(T)":15,M.tl:30,A.tl:40,  
RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'1999'),RESULTA('productan','T','ovine'  
,M,A,'2000'),  
RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2001'),RESULTA('productan','T','ovine'  
,M,A,'2002'),  
RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2003'),RESULTA('productan','T','ovine'  
,M,A,'2004')  
"":1/;)
```

```
Loop(M,  
put$((RESULTA('productan','T','bovine',M,A,'1999') or  
RESULTA('productan','T','bovine',M,A,'2000')  
or RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2001') or  
RESULTA('productan','T','bovine',M,A,'2002')  
or RESULTA('productan','T','ovine',M,A,'2003') or  
RESULTA('productan','T','bovine',M,A,'2004'))ne 0)  
"Prod.bovine(T)":15,M.tl:30,A.tl:40,  
RESULTA('productan','T','bovine',M,A,'1999'),RESULTA('productan','T','bovin  
e',M,A,'2000'),  
RESULTA('productan','T','bovine',M,A,'2001'),RESULTA('productan','T','bovin  
e',M,A,'2002'),  
RESULTA('productan','T','bovine',M,A,'2003'),RESULTA('productan','T','bovin  
e',M,A,'2004')  
"":1/;)
```

```
Put///;
```

```
Loop(M,  
put$((RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'1999') or  
RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2000')  
or RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2001') or  
RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2002')  
or RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2003') or  
RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2004'))ne 0)  
"Prix.ovine(T)":15,M.tl:30,A.tl:40,  
RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'1999'),RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'20  
00'),  
RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2001'),RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'20  
02'),  
RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2003'),RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'20  
04')  
"":1/;)
```

```
Loop(M,  
put$((RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'1999') or  
RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'2000')
```

```
or RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2001') or
RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'2002')
or RESULTP('prix','DT','ovine',M,A,'2003') or
RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'2004'))ne 0)
"Prix.bovine(T)":15,M.tl:30,A.tl:40,
RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'1999'),RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'
2000'),
RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'2001'),RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'
2002'),
RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'2004'),RESULTP('prix','DT','bovine',M,A,'
2004')
"":1/;
```

```
Put///;
```

```
Loop(c,
Loop(s,
put$( (RESULTV('productv','T',c,s,A,'1999') or
RESULTV('productv','T',c,s,A,'2000')
or RESULTV('productv','T',c,s,A,'2001') or
RESULTV('productv','T',c,s,A,'2002')
or RESULTV('productv','T',c,s,A,'2003') or
RESULTV('productv','T',c,s,A,'2004'))ne 0)
"Prod.veg(T)":15,c.tl:30,s.tl:20,A.tl:20,
RESULTV('productv','T',c,s,A,'1999'),RESULTV('productv','T',c,s,A,'2000'),
RESULTV('productv','T',c,s,A,'2001'),RESULTV('productv','T',c,s,A,'2002'),
RESULTV('productv','T',c,s,A,'2003'),RESULTV('productv','T',c,s,A,'2004')
"":1/;))
```

```
Put///;
```

```
Loop(ex,
put$( (RESULTR('Rculture','DT',A,'1999',ex) or
RESULTR('Rculture','DT',A,'2000',ex)
or RESULTR('Rculture','DT',A,'2001',ex) or
RESULTR('Rculture','DT',A,'2002',ex)
or RESULTR('Rculture','DT',A,'2003',ex) or
RESULTR('Rculture','DT',A,'2004',ex))ne 0)
"Rculture(DT)":15,Ex.tl:30,A.tl:40,
RESULTR('Rculture','DT',A,'1999',ex),RESULTR('Rculture','DT',A,'2000',ex),
RESULTR('Rculture','DT',A,'2001',ex),RESULTR('Rculture','DT',A,'2002',ex),
RESULTR('Rculture','DT',A,'2003',ex),RESULTR('Rculture','DT',A,'2004',ex)
"":1/;))
```

```
Loop(ex,
put$( (RESULTR('Ranimal','DT',A,'1999',ex) or
RESULTR('Ranimal','DT',A,'2000',ex)
or RESULTR('Ranimal','DT',A,'2001',ex) or
RESULTR('Ranimal','DT',A,'2002',ex)
or RESULTR('Ranimal','DT',A,'2003',ex) or
RESULTR('Ranimal','DT',A,'2004',ex))ne 0)
"Ranimal(DT)":15,Ex.tl:30,A.tl:40,
RESULTR('Ranimal','DT',A,'1999',ex),RESULTR('Ranimal','DT',A,'2000',ex),
RESULTR('Ranimal','DT',A,'2001',ex),RESULTR('Ranimal','DT',A,'2002',ex),
RESULTR('Ranimal','DT',A,'2003',ex),RESULTR('Ranimal','DT',A,'2004',ex)
"":1/;))
```

```
Loop(ex,
put$( (RESULTR('Rfinancier','DT',A,'1999',ex) or
RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2000',ex)
or RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2001',ex) or
RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2002',ex)
or RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2003',ex) or
RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2004',ex))ne 0)
"Rfinan(DT)":15,Ex.tl:30,A.tl:40,
```

```
RESULTR('Rfinancier','DT',A,'1999',ex),RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2000',ex),
RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2001',ex),RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2002',ex),
RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2003',ex),RESULTR('Rfinancier','DT',A,'2004',ex)
"":1/;
```

```
Loop(ex,
put$( (RESULTR('Rannuel','DT',A,'1999',ex) or
RESULTR('Rannuel','DT',A,'2000',ex)
or RESULTR('Rannuel','DT',A,'2001',ex) or
RESULTR('Rannuel','DT',A,'2002',ex)
or RESULTR('Rannuel','DT',A,'2003',ex) or
RESULTR('Rannuel','DT',A,'2004',ex))ne 0)
"Rannuel(DT)":15,Ex.tl:30,A.tl:40,
RESULTR('Rannuel','DT',A,'1999',ex),RESULTR('Rannuel','DT',A,'2000',ex),
RESULTR('Rannuel','DT',A,'2001',ex),RESULTR('Rannuel','DT',A,'2002',ex),
RESULTR('Rannuel','DT',A,'2003',ex),RESULTR('Rannuel','DT',A,'2004',ex)
"":1/;
```

```
Loop(ex,
put$( (RESULTR('Rtotal','DT',A,'1999',ex) or
RESULTR('Rtotal','DT',A,'2000',ex)
or RESULTR('Rtotal','DT',A,'2001',ex) or RESULTR('Rtotal','DT',A,'2002',ex)
or RESULTR('Rtotal','DT',A,'2003',ex) or
RESULTR('Rtotal','DT',A,'2004',ex))ne 0)
"Rthoriz(DT)":15,Ex.tl:30,A.tl:40,
RESULTR('Rtotal','DT',A,'1999',ex),RESULTR('Rtotal','DT',A,'2000',ex),
RESULTR('Rtotal','DT',A,'2001',ex),RESULTR('Rtotal','DT',A,'2002',ex),
RESULTR('Rtotal','DT',A,'2003',ex),RESULTR('Rtotal','DT',A,'2004',ex)
"":1/;
```

```
Loop(ex,
put$( (RESULTR('EROSION','T',A,'1999',ex) or
RESULTR('EROSION','T',A,'2000',ex)
or RESULTR('EROSION','T',A,'2001',ex) or RESULTR('EROSION','T',A,'2002',ex)
or RESULTR('EROSION','T',A,'2003',ex) or
RESULTR('EROSION','T',A,'2004',ex))ne 0)
"EROSION(T)":15,Ex.tl:30,A.tl:40,
RESULTR('EROSION','T',A,'1999',ex),RESULTR('EROSION','T',A,'2000',ex),
RESULTR('EROSION','T',A,'2001',ex),RESULTR('EROSION','T',A,'2002',ex),
RESULTR('EROSION','T',A,'2003',ex),RESULTR('EROSION','T',A,'2004',ex)
"":1/;
```

```
Loop(ex,
put$( (RESULTR('Tlouee','ha',A,'1999',ex) or
RESULTR('Tlouee','ha',A,'2000',ex)
or RESULTR('Tlouee','ha',A,'2001',ex) or RESULTR('Tlouee','ha',A,'2002',ex)
or RESULTR('Tlouee','ha',A,'2003',ex) or
RESULTR('Tlouee','ha',A,'2004',ex))ne 0)
"Tlouee(ha)":15,Ex.tl:30,A.tl:40,
RESULTR('Tlouee','ha',A,'1999',ex),RESULTR('Tlouee','ha',A,'2000',ex),
RESULTR('Tlouee','ha',A,'2001',ex),RESULTR('Tlouee','ha',A,'2002',ex),
RESULTR('Tlouee','ha',A,'2003',ex),RESULTR('Tlouee','ha',A,'2004',ex)
"":1/;
```

```
Loop(ex,
put$( (RESULTR('Tcedee','ha',A,'1999',ex) or
RESULTR('Tcedee','ha',A,'2000',ex)
or RESULTR('Tcedee','ha',A,'2001',ex) or RESULTR('Tcedee','ha',A,'2002',ex)
or RESULTR('Tcedee','ha',A,'2003',ex) or
RESULTR('Tcedee','ha',A,'2004',ex))ne 0)
"Tcedee(ha)":15,Ex.tl:30,A.tl:40,
RESULTR('Tcedee','ha',A,'1999',ex),RESULTR('Tcedee','ha',A,'2000',ex),
```

```
RESULTR('Tcedee','ha',A,'2001',ex),RESULTR('Tcedee','ha',A,'2002',ex),  
RESULTR('Tcedee','ha',A,'2003',ex),RESULTR('Tcedee','ha',A,'2004',ex)  
"":1/;)
```

```
Put///;
```

```
Loop(p,  
Loop(ex,  
put$( (RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'1999',ex) or  
RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'1999',ex)  
or RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'2000',ex) or  
RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'2001',ex)  
or RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'2002',ex) or  
RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'2004',ex))ne 0)  
"efovin":15,EX.tl:30,p.tl:20,A.tl:20,  
RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'1999',ex),RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'1999',  
ex),  
RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'2000',ex),RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'2000',  
ex),  
RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'2002',ex),RESULT6('efttotal','ovine',p,A,'2004',  
ex)  
"":1/;))
```

```
Loop(p,  
Loop(ex,  
put$( (RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'1999',ex) or  
RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'1999',ex)  
or RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'2000',ex) or  
RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'2001',ex)  
or RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'2002',ex) or  
RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'2004',ex))ne 0)  
"efbovin":15,EX.tl:30,p.tl:20,A.tl:20,  
RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'1999',ex),RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'1999',  
ex),  
RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'2000',ex),RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'2000',  
ex),  
RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'2002',ex),RESULT6('efttotal','bovine',p,A,'2004',  
ex)  
"":1/;))
```

```
Put///;
```

```
Loop(ex,  
Loop(SO,  
Loop(T,  
put$( (ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'1999',ex) or  
ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2000',ex)  
or ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2001',ex) or  
ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2002',ex)  
or ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2003',ex) or  
ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2004',ex))ne 0)  
"olive":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20  
ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'1999',ex),ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2000',ex),  
ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2001',ex),ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2002',ex),  
ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2003',ex),ASSOL(SO,'olive','Ha',t,A,'2004',ex)  
"":1/;))
```

```
Loop(ex,  
Loop(SO,  
Loop(T,  
put$( (ASSOL(SO,'amande','Ha',t,A,'1999',ex) or  
ASSOL(SO,'amande','Ha',t,A,'2000',ex)  
or ASSOL(SO,'amande','Ha',t,A,'2001',ex) or  
ASSOL(SO,'amande','Ha',t,A,'2002',ex)  
or ASSOL(SO,'amande','Ha',t,A,'2003',ex) or  
ASSOL(SO,'amande','Ha',t,A,'2004',ex))ne 0)  
"amande":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20
```

```
ASSOL(SO, 'amande', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'amande', 'Ha', t, A, '2000', ex)
/
ASSOL(SO, 'amande', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'amande', 'Ha', t, A, '2002', ex)
/
ASSOL(SO, 'amande', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'amande', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;)))
```

```
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"bled":15, ex.tl:30, so.tl:10, t.tl:10, A.tl:20
ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2000', ex),
ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2002', ex),
ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'bled', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;)))
```

```
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"blet":15, ex.tl:30, so.tl:10, t.tl:10, A.tl:20
ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2000', ex),
ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2002', ex),
ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'blet', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;)))
```

```
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"orge":15, ex.tl:30, so.tl:10, t.tl:10, A.tl:20
ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2000', ex),
ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2002', ex),
ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'orge', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;)))
```

```
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"avoine":15, ex.tl:30, so.tl:10, t.tl:10, A.tl:20
ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2000', ex)
/
ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2002', ex)
/
ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'avoine', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;)))
```

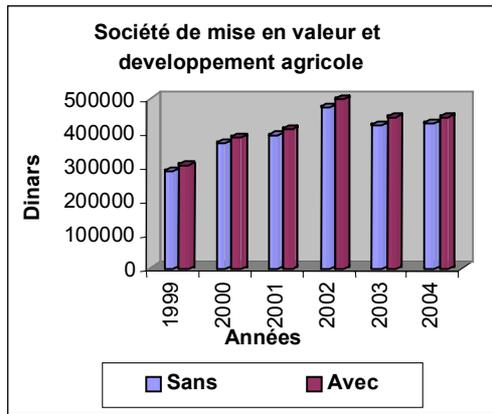
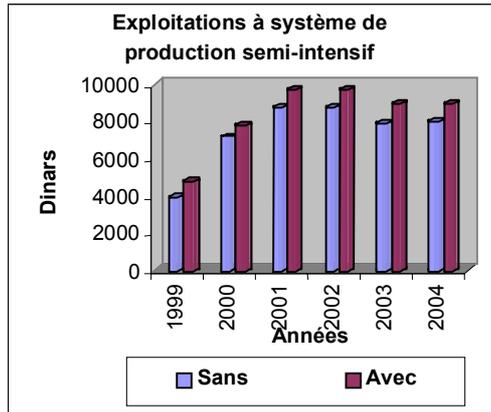
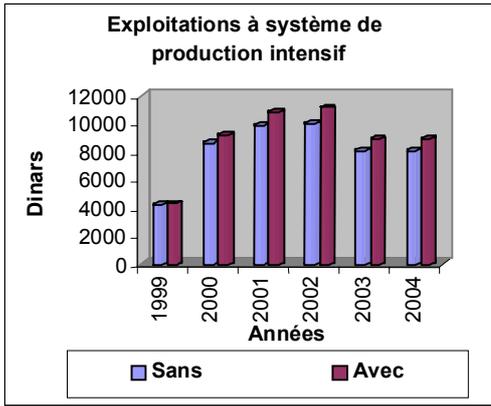
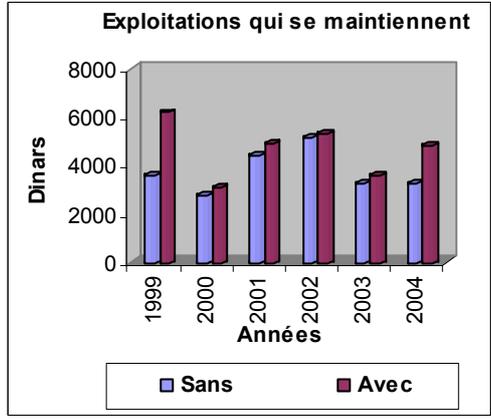
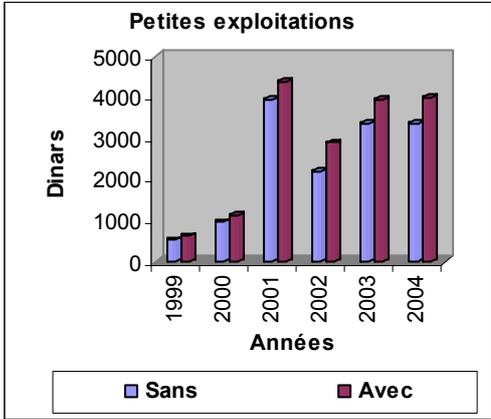
```
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"jach":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20
ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2000', ex),
ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2002', ex),
ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;))
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"medica":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20
ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2000', ex)
,
ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2002', ex)
,
ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'medica', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;))
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"orgev":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20
ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2000', ex),
ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2002', ex),
ASSOL(SO, 'orgev', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'jach', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;))
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"poterre":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20
ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '1999', ex), ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2000', e
x),
ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2001', ex), ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2002', e
x),
ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2003', ex), ASSOL(SO, 'poterre', 'Ha', t, A, '2004', e
x)
"":1/;))
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
```

```
put$( (ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"tomate":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20
ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '1999', ex),ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2000', ex)
/
ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2001', ex),ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2002', ex)
/
ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2003', ex),ASSOL(SO, 'tomate', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;)))
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"parcours":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20
ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '1999', ex),ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2000'
, ex) ,
ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2001', ex),ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2002'
, ex) ,
ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2003', ex),ASSOL(SO, 'parcours', 'Ha', t, A, '2004'
, ex)
"":1/;)))
Loop(ex,
Loop(SO,
Loop(T,
put$( (ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '1999', ex) or
ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2000', ex)
or ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2001', ex) or
ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2002', ex)
or ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2003', ex) or
ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2004', ex))ne 0)
"pasteq":15,ex.tl:30,so.tl:10,t.tl:10,A.tl:20
ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '1999', ex),ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2000', ex)
/
ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2001', ex),ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2002', ex)
/
ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2003', ex),ASSOL(SO, 'pasteq', 'Ha', t, A, '2004', ex)
"":1/;)))

put/);

);
```

ANNEXE 2. GRAPHIQUES 1. IMPACT ECONOMIQUE DE LA TECHNIQUE DES BANQUETTES



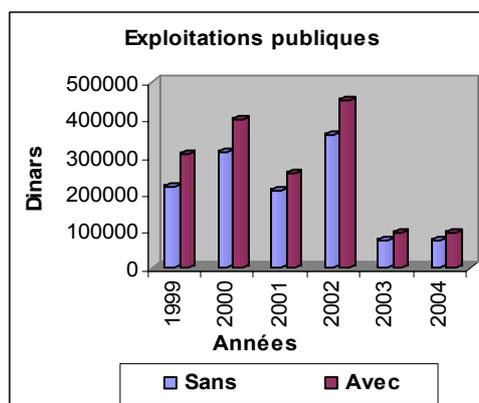
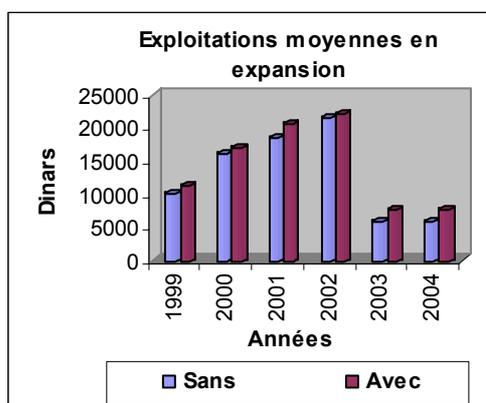
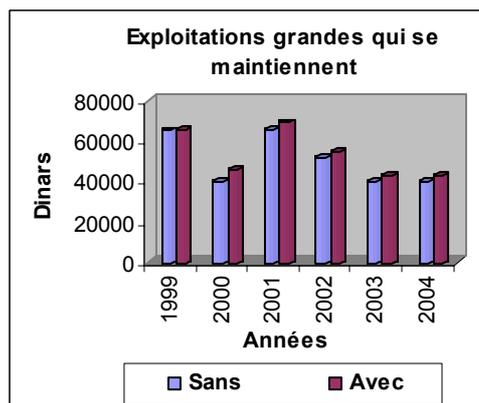
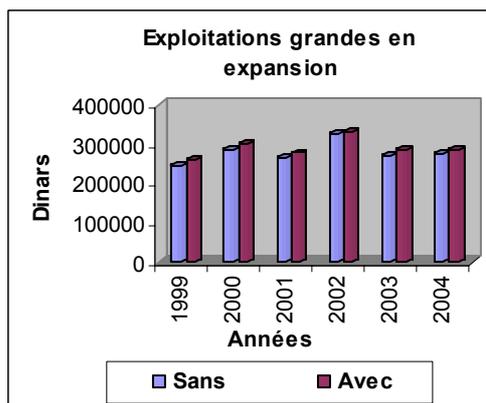


Tableau 1. Caractéristiques du climat (1985-1994)

	Température (°c)			Précipitation		R. solaire	Vitesse du vent (m/s)
	Moy. maximale	Moy. minimale	Moyen.	mm	n°jour		
Janv.	15,3	4,92	9,98	44,16	8,16	193	3,16
Fev.	16,2	5,30	10,70	47,03	8,70	293	6,00
Mars	18,41	6,86	12,63	51,54	8,50	351	2,96
Avril	21,88	8,42	15,15	40,98	7,00	455	3,80
Mai	26,42	12,85	19,63	27,67	6,40	507	2,94
Juin	30,96	15,57	23,27	4,68	0,80	588	4,19
Juillet	33,37	19,91	26,60	3,22	1,00	587	2,39
Aout	36,54	20,08	28,31	8,20	5,30	537	2,40
Sept.	32,47	17,86	25,17	46,29	7,70	417	2,70
Oct.	26,33	14,70	20,52	42,20	7,20	380	3,09
Nov.	20,34	9,79	15,07	38,93	6,75	227	3,14
Dec.	16,07	6,18	11,13	40,70	10,40	176	2,25
Moy.	24,50	11,87	18,18	40,70	-	-	2,71

Source: Institut National de Météorologie

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : LA RELATION AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT : POSITIONNEMENTS THEORIQUES, PROBLEMATIQUE ET CHOIX METHODOLOGIQUE	
CHAPITRE 1 : ECONOMIE, ENVIRONNEMENT, AGRICULTURE : LES POSITIONNEMENTS THEORIQUES	13
INTRODUCTION.....	13
I. LES PARADIGMES : LES GRANDS REGARDS DE LA THEORIE	16
I.1 L'univers mécanique.....	16
I.2 L'univers thermodynamique.....	17
I.3 L'univers de la destruction créatrice	19
II. LA RELATION ACTIVITE ECONOMIQUE ENVIRONNEMENT : LES PREMIERES APPROCHES ECONOMIQUES.....	20
III. LA RELATION ACTIVITE ECONOMIQUE ENVIRONNEMENT : LES COURANTS DE PENSEE CONTEMPORAINS	25
III.1 L'approche des économistes de l'environnement.....	26
III.1.1 L'adoption du mécanisme "régulation par le marché".....	26
III.1.2 Les politiques d'intervention et leurs instruments : du curatif au préventif.....	27
III.1.2.1 L'économie de l'environnement : internalisation des externalités	27
III.1.2.2 L'économie des ressources naturelles : gestion et allocation.....	30
III.1.3 Le maintien d'un stock global de capital : une condition suffisante de la soutenabilité.....	31
III.1.4 Les limites de la théorie des économistes de l'environnement.....	32
III.1.4.1 Une réduction de l'environnement à une dimension marchande	32
III.1.4.2 L'optimum de Pareto : une norme de référence et non de réalisation	33
III.1.4.3 Une Hypothèse contestable de substituabilité entre les capitaux.....	34
III.2 L'approche de "l'Ecole de Londres".....	35
III.2.1 La valorisation monétaire des actifs naturels.....	35
III.2.2 Le maintien d'un stock de capital naturel critique : une condition nécessaire de la soutenabilité.....	37
III.2.3 Les limites de la théorie des économistes de "l'Ecole de Londres"	37
III.2.3.1 Une monétarisation contestable de la nature	38
III.2.3.2 Des méthodes d'évaluation délicates	38
III.2.3.3 Un modèle de soutenabilité discutabile	39

III.3 L'approche de l'Economie écologique (Ecological economics).....	40
III.3.1 Historique du couplage économie / écologie	40
III.3.2 Economie et écologie : concordances et conflits	41
III.3.3 Economie écologique : conception et inspiration épistémologique	42
III.3.4 Les fondements de l'économie écologique.....	44
III.3.4.1 Une approche multidimensionnelle et multidisciplinaire	44
III.3.4.2 Une approche d'évolution et de coévolution	46
III.3.4.3 Une approche insistant sur la rationalité procédurale.....	47
III.3.5 Le maintien d'un stock de capital naturel constant : une condition nécessaire de la soutenabilité.....	50
III.3.6 Les limites de la théorie de l'économie écologie.....	51
Conclusion.....	52
CHAPITRE 2 : AGRICULTURE, ENVIRONNEMENT, EROSION : LA PROBLEMATIQUE.....	55
INTRODUCTION.....	55
I. LA RELATION AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT : FONDEMENT HISTORIQUE.....	56
I.1 Aperçu historique de la relation agriculture-environnement	56
I.2 Les effets de l'agriculture sur l'environnement	58
II. LA RELATION AGRICULTURE RESSOURCES NATURELLES : UN LIEN EVIDENT.....	63
II.1 Le concept de ressources naturelles en économie	63
II.1.1 Les ressources naturelles dans la pensée économique.....	63
II.1.2 Les ressources naturelles et la rareté	64
II.2 Caractéristiques et typologie des ressources naturelles.....	65
II.3 Relation entre agriculture et ressources naturelles : le cas des sols.....	66
II.4 Les ressources naturelles : quel avenir ?	67
III. AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT : CONFLITS DE LOGIQUE ET PROBLEMES DE COORDINATION	69
IV . L'EROSION : UN EXEMPLE DE LA RELATION AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT.....	74
IV.1 L'érosion et le renouvellement du sol : les thèses en présence.....	75
IV.2 Relation agriculture érosion.....	76
IV.2.1 Importance globale de l'érosion.....	76
IV.2.2 Les causes de l'érosion.....	77
IV.2.3 Les formes d'érosion.....	78
IV.2.4 Les conséquences de l'érosion.....	79
IV.2.4.1 Les effets à court terme de l'érosion.....	79
IV.2.4.2 Les effets à long terme de l'érosion.....	80
IV.2.5 La conception de l'érosion en tant qu'externalité : une réflexion théorique.....	82

Conclusion.....	94
CHAPITRE 3 : MODELISATION BIO-ECONOMIQUE : LE SUPPORT METHODOLOGIQUE	97
INTRODUCTION.....	97
I. LE CHOIX DU SUPPORT METHODOLOGIQUE.....	98
I.1 Les méthodes basées sur les fonctions de production traditionnelles.....	99
I.2 Les méthodes basées sur la fonction de production d'ingénieur	100
II. LE POSITIONNEMENT THEORIQUE DE LA MODELISATION BIO-ECONOMIQUE.....	102
III. LA MODELISATION BIO-ECONOMIQUE COMME OUTIL D'ANALYSE : APERCU GENERAL.....	104
III.1 Définition et origine	104
III.2 La modélisation bio-économique en agriculture : aperçu historique	105
III.3 Les diversifications de la modélisation bio-économique	106
III.4 La modélisation bio-économique : justification d'une demande croissante....	107
IV. LA MODELISATION BIO-ECONOMIQUE RETENUE : DEFINITION ET SPECIFICITE	108
IV.1 EPICPHASE (EWQTPR) : comme outil de la modélisation biophysique.....	109
IV.1.1 Les modèles de simulation biophysique : définition, forces et faiblesses.....	109
IV.1.2 Types de modèles biophysiques appliqués à l'environnement naturel.....	111
IV.1.3 Le modèle biophysique choisi.....	112
IV.2 Le modèle de programmation mathématique : un modèle dynamique et récursif.....	115
IV.2.1 Aperçu historique sur les modèles mathématiques.....	115
IV.2.2 Structure du modèle de programmation mathématique	116
IV.2.3 Le choix de la modélisation du risque : pour un modèle plus réaliste.....	117
IV.2.3.1 Les modèles avec risque sur les contraintes	118
IV.2.3.2 Les modèles avec risque sur les coefficients techniques	120
IV.2.3.3 Les modèles avec risque sur les coefficients de la fonction objectif .	121
IV.2.4 Le modèle de programmation mathématique : du positif au normatif.....	124
IV.2.5 L'échelle spatiale de la modélisation retenue : une dimension régionale	124
IV.2.6 L'échelle temporelle de la modélisation retenue : un modèle dynamique et récursif avec adaptation retardée	125
Conclusion.....	128

DEUXIEME PARTIE : LE MODELE BIO-ECONOMIQUE : DE LA THEORIE A LA PRATIQUE

CHAPITRE 1 : LA REGION DE ZAGHOUAN (TUNISIE) COMME DOMAINE D'ETUDE : CARACTERISATION ET TYPOLOGIE DES EXPLOITATIONS.. 129

INTRODUCTION.....	129
I. L'ENVIRONNEMENT NATUREL EN TUNISIE : UN ESPACE MENACE.....	129
II. POLITIQUE TUNISIENNE DE CONSERVATION DES RESSOURCES NATURELLES.....	132
III. LA REGION DE ZAGHOUAN : SPECIFICITES ET TYPOLOGIES DES EXPLOITATIONS.....	133
III.1 Monographie de la région.....	133
III.1.1 Milieu naturel.....	133
III.1.2 Climatologie.....	134
III.1.3 Le relief et le sol.....	134
III.2 Environnement socio-économique de la région.....	136
III.2.1 Structures agraires.....	136
III.2.2 Activité agricole.....	137
III.3 Typologie des exploitations agricoles.....	141
III.3.1 Le secteur domanial.....	142
III.3.1.1 Les fermes de l'Office d'Elevage et de Pâturage.....	144
III.3.1.2 Les sociétés de mise en valeur et de développement agricole (SMVDA).....	146
III.3.2 Le secteur privé.....	147
III.3.2.1 Les systèmes de production en extensif.....	147
III.3.2.1.1 Les petites exploitations.....	147
III.3.2.1.2 Les exploitations de taille moyenne.....	149
III.3.2.1.3 Les grandes exploitations.....	151
III.3.2.2 Les systèmes de production en intensif.....	153
III.3.2.3 Les systèmes de production en semi-intensif.....	154
III.3.2.4 Structure agraire du secteur privé.....	158
III.4 Les Paramètres et les coefficients techniques régionales.....	159
Conclusion.....	162

CHAPITRE 2 : LE MODELE BIOPHYSIQUE : CONSTRUCTION ET OBTENTION DES COEFFICIENTS TECHNIQUES..... 165

INTRODUCTION.....	165
I. LA CONSTRUCTION ET LA VALIDATION DU MODELE BIOPHYSIQUE.....	166
I.1 La construction du modèle biophysique de base.....	166
I.2 La validation du modèle EPICPHASE.....	167
ii. choix des alternatives de production et détermination des coefficients	

TECHNIQUES.....	169
Conclusion: les atouts et les limites du modèle EPICPHASE.....	174
CHAPITRE 3 : LE MODELE ECONOMIQUE : CONCEPTION ET CONSTRUCTION.....	176
INTRODUCTION.....	176
I. LE MODELE ECONOMIQUE D'EXPLOITATION.....	177
I.1 Les activités productives.....	177
I.1.1 Les activités végétales	177
I.1.2 Les activités animales	178
I.2 Formulation de la fonction objectif et prise en compte du risque	178
I.2.1 La fonction objectif sans risque	178
I.2.2 La fonction objectif avec risque	184
I.3 Formulation des contraintes de multipériodicité.....	186
I.3.1 Contraintes agronomiques.....	186
I.3.2 Contraintes de main d'œuvre	187
I.3.3 Contraintes de traction mécanique	188
I.3.4 Contraintes relatives à l'élevage.....	189
I.3.5 Contrainte emprunt.....	193
I.3.6 Contrainte trésorerie	194
I.3.7 Equation d'érosion	196
I.4 Formulation des contraintes de récursivité	197
I.4.1 S.A.U.	198
I.4.2 La trésorerie initiale.....	198
I.4.3 Les effectifs.....	198
II. LE MODELE AGREGÉ : LA REGION COMME UNITE ECONOMIQUE	198
II.1 Les modèles agrégés en agriculture : spécificités et limites	199
II.1.1 Les modèles de simulation économétrique à grande échelle	200
II.1.2 Les modèles de programmation	200
II.2 Structure économique du modèle agrégé retenu	202
II.2.1 Type de modèle agrégé retenu et l'issue d'agrégation.....	202
II.2.2 Conception du modèle agrégé retenu	204
II.3 Les équations du modèle agrégé et l'équilibre du marché	207
II.3.1 La fonction objectif agrégée et la fonction de demande	207
II.3.2 Les contraintes de transfert entre les exploitations	210
Conclusion.....	214

TROISIEME PARTIE : LES MODELES BIO-ECONOMIQUES : ANALYSE DES RESULTATS ET EVALUATION DES POLITIQUES

CHAPITRE 1 : LES RESULTATS DES MODELES INDIVIDUELS ET AGREGE DE BASE	216
INTRODUCTION.....	216
I. VALIDATION DES MODELES DE BASE : REPRODUCTION DES TENDANCES ACTUELLES.....	217
I.1 Diagnostic des résultats des modèles d'exploitation de base.....	219
I.1.1 Le modèle des petites exploitations (EP).....	219
I.1.2 Le modèle des exploitants moyens qui se maintiennent (EMM)	221
I.1.3 Le modèle des exploitants moyens en expansion (EME)	222
I.1.4 Le modèle des grandes exploitations qui se maintiennent (EGM).....	223
I.1.5 Le modèle des grands entrepreneurs (EGE)	224
I.1.6 Le modèle des exploitations à système de production intensif (EIN)	225
I.1.7 Le modèle des exploitations à système de production semi-intensif (ESI).....	226
I.1.8 Le modèle des exploitations publiques (EPU)	226
I.1.9 Le modèle des sociétés de mise en valeur et de développement agricole (SMVDA)	227
I.2 Présentation des résultats du modèle agrégé de base	232
I.2.1 La fonction objectif agrégée : utilité sociale - érosion.	232
I.2.2 La production végétale.	233
I.2.3 La production animale.	235
Conclusion.....	237
CHAPITRE 2 : EVALUATION ET PROPOSITION DES POLITIQUES	239
INTRODUCTION.....	239
I. L'INSTRUMENT CONTRACTUEL D'ECO-CONDIONNALITE : PROPOSITION D'UN CAHIER DE CHARGE SPECIAL EROSION	240
II. LA POLITIQUE DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL (CES) : EVALUATION DE L'EFFICACITE DES BANQUETTES.....	244
Conclusion.....	249
CONCLUSION GENERALE	250
BIBLIOGRAPHIE	254