

CIHEAM



Centre
International
de Hautes Etudes
Agronomiques Méditerranéennes

*International
Centre for
Advanced
Mediterranean Agronomic Studies*

Thèse / Thesis

requis pour
l'obtention du Titre

*submitted
for the Degree of*

Master of Science

**Un modèle bioéconomique d'exploitation
pour l'analyse de l'écoconditionnalité et
des mesures agrienvironnementales
de lutte contre l'érosion
- Cas du Lauragais -**

Mohamed Ayeche Ghali

Série "Master of Science n° 85
2007

**Institut Agronomique Méditerranéen de
Montpellier**



**Un modèle bioéconomique d'exploitation
pour l'analyse de l'écoconditionnalité et
des mesures agrienvironnementales
de lutte contre l'érosion
- Cas du Lauragais -**

Mohamed Ayech Ghali

Série "Master of Science n° 85
2007

**Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de
l'écoconditionnalité et des mesures agrienvironnementales de lutte contre
l'érosion - Cas du Lauragais -**

Mohamed Ayech Ghali

Série Thèses et Masters

Ce Master est le numéro 85 de la collection Thèses et Masters de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

Cette collection réunit les thèses *Master of Science* du CIHEAM-IAMM ayant obtenu la mention « Publication », ainsi que les travaux doctoraux réalisés dans le cadre des activités scientifiques et pédagogiques de l'Institut et ses enseignants chercheurs.

La thèse *Master of Science* du Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes :

Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de l'écoconditionnalité et des mesures agri-environnementales de lutte contre l'érosion – Cas du Lauragais.

a été soutenue par Mohammed Ayech Ghali le 28 mars 2007 devant le jury suivant :

Mme Florence Jacquet, Directrice de recherche, INRA..... Présidente
M. Charilaos Kephaliacos, Professeur de Sciences Economiques, ENFA de Toulouse Membre
Mme Aude Ridier, Maître de conférence en Sciences Economiques, ENFA de Toulouse..... Membre
M. Guillermo Flichman, Professeur associé, CIHEAM/IAMM..... Membre
M. Kamel Louhichi, chargé de recherche, CIHEAM/IAMM Membre

Le travail de recherche a été encadré par MM. Guillermo Flichman et Kamel Louhichi.

Le texte a été mis en forme par le Bureau des Publications de l'Institut de Montpellier.

CIHEAM-IAMM
Institut Agronomique Méditerranéen
de Montpellier

Directeur : Vincent Dollé

3191, route de Mende – BP 5056
34093 Montpellier cedex 05
Tél. : 04 67 04 60 00
Fax : 04 67 54 25 27
<http://www.iamm.fr>

L'Institut Agronomique Méditerranéen de
Montpellier n'entend donner aucune approbation ni
improbation aux opinions émises dans cette thèse.

Ces opinions n'engagent que leur auteur

ISBN : 2-85352-368-3-. ISSN : 0989-473X

Numéros à commander au
CIHEAM-IAMM
Bureau des Publications
e-mail : tigoulet@iamm.fr

Prix 50€
©CIHEAM, 2007

Fiche bibliographique

Ghali (Mohammed Aych) - Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de l'écoconditionnalité et des mesures agri-environnementales de lutte contre l'érosion. Cas du Lauragais– Montpellier : CIHEAM-IAMM, 2007 - 94p. (thèse *Master of Science*, IAMM, 2007, Série Thèses & Masters n° 85)

Résumé :

L'érosion des sols en France est devenue, une menace environnementale majeure pour la durabilité et la capacité productive de l'agriculture conventionnelle. Sa prise en compte réelle dans la politique agricole commune (PAC) s'est traduite uniquement lors de la réforme de 2003 par l'introduction de la conditionnalité des aides au respect des Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (BCAE) visant l'atténuation de ce phénomène. La présente étude analyse, d'une part, les rapports entre les décisions de production et le phénomène d'érosion et d'autre part, les impacts de certaines mesures agrienvironnementales, principalement « l'implantation de bandes enherbées » et « l'entretien minimal des terres », sur le contrôle de ce phénomène et sur les performances économiques de l'exploitation agricole. Pour cela, un modèle bioéconomique couplant un modèle agronomique et un modèle économique de programmation mathématique est utilisé. L'application de ce modèle en est faite au niveau d'une exploitation de grandes cultures de la région de Lauragais (sud-ouest de la France) fortement touchée par ce phénomène. Les résultats obtenus montrent que l'implantation d'une bande enherbée induit une baisse de revenu de 2% (comparée à la situation de référence) et permet en revanche de réduire l'érosion de l'ordre de 13,35%. L'introduction de la technique d'entretien minimal des terres (culture intercalaire et labour minimal) en plus de la bande enherbée a permis d'améliorer jusqu'à 65,4% cette réduction. Cependant, il faudrait une allocation d'une prime supplémentaire d'un montant de 190€ par culture et par hectare, pour que l'agriculteur opte pour un système de production conservateur. En revanche la réduction de 5% prévue par la PAC en 2007 suffit pour l'implantation de bandes enherbées.

Mots clés : Erosion, PAC, mesures agrienvironnementales, écoconditionnalité, externalité, modèle bioéconomique, programmation mathématique, modèle biophysique, Lauragais

Abstract:

In France, erosion constitutes a major environmental threat to the sustainability and productive capacity of traditional agriculture. To handle this problem, the 2003 reform of Common Agricultural Policy has introduced some compulsory cross-compliances, which make subsidy support dependent on keeping the land in Good Agricultural and Environmental Condition. The present study analyses the interactions between the agricultural activity and its external environment and the impacts of anti erosion measures, especially the implementation of «grassed buffer strips along water courses » and «the minimum level of soil maintenance » on the environmental and economic performances of the farming system. The used approach is based on the integration of biophysical and economic programming models. The study was carried out in a single farm of the Lauragais region (South West France), a region that is experiencing strongly decreasing soil fertility as a result of erosion. The implementation of buffer strips leads to an income reduction of 2% (compared to the reference situation) but also to a net decrease of erosion by 13.35%. The introduction of a minimum level of soil maintenance in addition to the buffer strips reduces erosion up to 65.4%. However, farmer would need an additional premium of an amount of 190€ by culture and hectare to choose a preserving system of production. On the other hand, the 5% premium cut considered in the CAP 2007 is sufficient to make the farmer establishing buffer strips.

Key Words: Erosion, CAP, agri-environmental policies, GAEC, cross compliance, subsidies; externality, bio-economic model, mathematical programming, agronomic model, Lauragais.

DEDICACES

*A l'âme de mon père, qui m'a appris le sens de la sagesse,
A ma mère qui m'a appris le sens de l'amour,
A ma femme Nejla,
A mes frères.*

Remerciements

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer mes profonds et sincères remerciements à :

M. **Guillermo Flichman**: Professeur associé à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier pour sa clairvoyance, sa confiance et ses conseils précieux, qui ont permis de bien mener ce travail.

M. **Kamel Louhichi**: Chargé de recherche à l'IAM Montpellier pour ses conseils judicieux, son assistance et son aide lors de la correction de ce travail.

M. **Hatem Belhouchette** : Chargé de recherche à l'INRA Montpellier pour son aide précieuse lors du développement du modèle agronomique sur CROPSYST.

Aux **membres du jury** :

Mme **Florence Jacquet**, Directrice de recherche INRA

M. **Charilaos Kephaliacos**, Professeur de Sciences Economiques, ENFA Toulouse

Mme **Aude Ridier**, Enseignant-chercheur en économie-gestion, ENFA Toulouse

M. **Guillermo Flichman**, Professeur associé CIHEAM/IAMM

M. **Kamel Louhichi**, Chargé de recherche CIHEAM/IAMM

Mes remerciements tous particuliers s'adressent également à tout le personnel de l'**IAM Montpellier**.

Table des matières

Table des figures	4
Introduction générale	5
Première Partie : Erosion des sols et politiques agrienvirnementales	7
Chapitre 1 : Dégradation du sol en Europe et en France et politiques agrienvirnementales	9
I- Problèmes de dégradation du sol en Europe	9
II- L'érosion en France : région de Midi-Pyrénées	10
1- Types d'aléas érosifs	10
A- Type 1 : érosion en régions de grandes cultures	10
B- Type 2 : érosion de vignobles et de vergers	11
C- Type 3 : érosion de montagne	11
D- Type 4 : érosion méditerranéenne	11
2- Erosion dans la région de Midi-Pyrénées	13
3- Spécificité agricole de la région et érosion du sol	14
4- Le Lauragais comme zone d'étude	15
III- Mesures et politiques agrienvirnementales en matière de protection des sols agricoles	15
1- Nature des mesures agri enviroennementales	15
2- Politiques de conservation des sols	16
3- Mesures comparées de lutte antiérosive	18
Chapitre 2 : Position de la problématique et des hypothèses de recherche	21
I- Problématique	21
II- Les hypothèses de recherche	21
Deuxième Partie : Positionnement théorique de l'érosion et méthodes d'estimation	23
Chapitre 1 : Production, Erosion et Théories économiques	25
A. L'érosion du sol vu par les courants de pensées contemporains en économie de l'environnement	25
I- L'érosion vu par la nouvelle économie publique	25
II- L'économie des ressources naturelles	26
1- Place des ressources naturelles dans la pensée économique	26
2- Contrôler l'érosion passe par une gestion optimale de la ressource sol	26
III- L'économie standard de l'environnement	27
IV- L'économie écologique	28
B. Analyse et valorisation de la relation production – érosion	30
I- L'érosion est une externalité jointe à la production agricole	30
II- Valorisation des externalités	31
1- Les approches orthodoxes : une valorisation monétaire suivie par l'application de l'analyse coût avantage	31
A- Pourquoi une évaluation monétaire ?	31
B- Exemple : évaluation monétaire de l'érosion basée sur le rapport rendement- érosion	33
C- Limite de la valorisation monétaire	34
D- Application de l'analyse coût avantage	36
2- Les approches hétérodoxes : une évaluation physique suivie par une application de l'analyse coût efficacité	36
A- Pourquoi une évaluation physique ?	36
B- Application de l'analyse coût efficacité	37

Chapitre 2 : Estimation et internalisation des externalités : application à l'érosion	39
I- Estimation de la fonction d'érosion	39
1- Méthodes basées sur les fonctions de production traditionnelles	39
2- Méthodes basées sur les fonctions de production d'ingénieur	40
II- Internalisation des externalités d'origine agricole : une application des instruments standards est-elle requise?	41
Conclusion	41
Troisième Partie : Choix méthodologique et application empirique : la modélisation bioéconomique	43
Chapitre 1 : La modélisation bioéconomique : spécification et intérêts pour l'analyse des politiques agri-environnementales	45
I – La modélisation bioéconomique : principe et intérêts pour l'analyse des problèmes environnementaux	45
1- Les modèles biophysiques	45
2- Les modèles de programmation mathématique (MPM)	47
II- Spécification du modèle bioéconomique choisi : statique comparatif	48
Chapitre 2 : Application empirique à une exploitation de Lauragais	51
I- Présentation de l'exploitation agricole retenue	51
II- Présentation du modèle économique	51
1- Activités productives et coefficients technico-économiques	52
A- Les activités productives	52
B- Validation des coefficients technico-économiques	52
2- La fonction –objectif et prise en compte du risque	53
3- Les contraintes technico-économiques	54
A- Occupation du sol	54
B- Terres irriguées	54
C- Précédents culturels	55
D- Contraintes institutionnelles et politiques	55
E- Prise en compte de l'érosion	56
III- Analyse de la situation de base et validation du modèle	56
IV- Situation de référence : la réforme de la PAC de 2003 (découplage des aides)	58
V- Scénarios de politique	59
1- Scénario 1: L'écoconditionnalité : conditionnalité des aides à l'implantation des bandes enherbées	59
2- Scénario 2 : Les mesures agrienvironnementales : introduction des cultures intercalaires et adoption des techniques d'entretien minimal des terres	60
3- Scénario 3 : Ecoconditionnalité associée aux mesures agrienvironnementales	61
Chapitre 3 : Résultats et interprétation	63
I- Analyse de la situation de référence	63
II- Analyse des scénarios de politique	64
1- Résultats du premier scénario	64
2- Résultats du second scénario	66
3- Résultats du troisième scénario	68
Conclusion	70
Conclusion générale	71
Bibliographie	73
Annexes	79

Liste des abréviations

ACA	Analyse Coûts-Avantages
ACE	Analyse Coût Efficacité
AEE	Agence européenne pour l'environnement
BCAE	Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales
C.R.E.A.M.S	Chemicals Runoff and Erosion from Agriculture Management Systems
CROPSYST	Cropping Systems Simulation model
DPU	Droit à paiement unique
ECAF	European Conservation Agriculture Federation
ENSEEIH	Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications
EPIC	Erosion Productivity Impact Calculator
FF	Franc Français
GAMS	General Algebraic Modelling System
IEW	Inter Environnement Wallonie
IFEN	Institut Français de l'Environnement
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
MAAPAR	Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MPM	Modèles de programmation mathématique
OCDE	Organisation for Economic Co-operation and Development
PAC	Politique Agricole Commune
SAU	Superficie Agricole Utile
SCOP	Superficie des Céréales, Oléagineux et Protéagineux
SEAMLESS	System for Environmental and Agricultural Modelling ; Linking European Science and Society
SESCPF	Service d'étude des sols et de la cartographie pédologique de France
UE	Union Européenne
USLE	Universal Soil Loss Equation
WEE	Wind Erosion Equation

Table des figures

Tableaux

Tableau 1 : Correspondance entre les mesures et les types de dégradation du sol	23
Tableau 2 : Principales caractéristiques du modèle utilisé	51
Tableau 3 : Caractéristiques de l'exploitation agricole	52
Tableau 4 : Présentations des Cultures, sol, techniques, systèmes et notations utilisés	53
Tableau 5 : Matrice des différentes combinaisons possibles entre culture et précédent	56
Tableau 6 : Bilan de l'exploitation	59
Tableau 7 : Bilan de la situation de référence	65
Tableau 8 : Résultats économiques du scénario 1	66
Tableau 9 : Résultats économiques du scénario 2	68
Tableau 10 : Résultats économiques du scénario 3	70

Graphiques

Carte 1 : Aléa d'érosion des sols annuel intégré par département	16
Carte 2 : Aléa d'érosion des sols annuel intégré par petite région agricole	17
Fig. 1 : Courbes de dommage et dépollution	36
Fig. 2 : Fonction d'externalité, rendement sous l'hypothèse : monotone, convexe	38
Fig. 3 : Relation érosion – rendement sous différentes techniques	39
Fig. 4 : Démarche méthodologique	50
Graphique 1 : Comparaison de l'assolement simulé avec l'assolement réel	59
Graphique 2 : Assolements de l'année de référence et l'année de base	64
Graphique 3 : Niveau global d'érosion en situation de référence	65
Graphique 4 : Assolements de la simulation du scénario 1	66
Graphique 5 : Niveau d'érosion de la simulation du scénario 1	67
Graphique 6 : Assolements de la simulation du scénario 2	68
Graphique 7 : Niveau d'érosion de la simulation du scénario 2	69
Graphique 8 : Assolements de la simulation du scénario 3	69
Graphique 9 : Niveau d'érosion de la simulation du scénario 3	70
Schéma 1 : L'érosion, externalité jointe au produit	34

Introduction générale

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation primordiale dans le comportement social des agents et dans les décisions politiques aussi bien qu'au niveau national qu'international et ce afin de conserver notre patrimoine commun, de restituer une meilleure condition de vie et d'assurer un développement économique et social durable. En effet, les dégradations environnementales occasionnées par les différentes activités productives, créent des limitations dans l'utilisation des ressources naturelles, susceptibles de freiner, voir de bloquer la croissance économique.

Parmi les activités les plus affectées par les conséquences de détérioration des ressources naturelles, on cite l'agriculture qui est à la fois responsable et victime de la perturbation de l'équilibre écologique. En effet, les conditions politiques et économiques instaurées par les Etats dans le but de marquer leurs souverainetés ont contribué au développement d'un type d'agriculture productiviste marqué par une intensification et par une exploitation des ressources naturelles. L'agriculture devient de ce fait un élément actif dans la dégradation environnementale.

L'érosion des sols est l'un de ces types de dégradation, il constitue aujourd'hui un sujet de préoccupation croissante et une problématique permanente tant par son étendu et son ampleur que par la diversité de ses origines et de ses conséquences.

L'érosion du sol est devenue, en effet, une menace environnementale majeure pour une durabilité et une capacité productive de l'agriculture conventionnelle. De fait, ces 40 dernières années, pratiquement un tiers des terres cultivables du monde ont été perdues par l'érosion et continuent d'être perdues à un rythme de plus de 10 millions d'ha/an (Pimental et al.1995).

En Europe, l'érosion du sol est un problème grave dans beaucoup de régions affectant tous les pays. Environ 115 millions d'hectares souffrent de l'érosion hydrique et 42 millions d'ha de l'érosion éolienne (Oldeman, Hakkeling et Sombrok. 1991). Dans la région méditerranéenne, la dégradation et l'érosion du sol sont plus prononcées, en effet l'érosion par l'eau peut entraîner une perte de 20 à 40 tonnes/ha de sol en un seul orage (Morgan, 1992). Ceci peut être aggravé par les pratiques agricoles non conservatrices, d'où vient l'importance du rôle de l'agriculture dans la conservation du sol.

Depuis le sommet mondial de la terre à RIO en 1992, on assiste à une réelle prise de conscience de l'importance de protéger durablement le sol, en tant que base de la production alimentaire, mais également de préserver ses fonctions environnementales vis-à-vis de la qualité de l'eau, des chaînes alimentaires, ou encore comme réservoir biologique.

Cette prise en compte mondiale n'a malheureusement pas été suivie en Europe. Les politiques agrienvironnementales en matière de lutte contre l'érosion ne sont instaurées que pendant la réforme du juin 2003 de la politique agricole commune (PAC) sous formes d'éco-conditionnalité et de mesures s'inscrivant dans le domaine de bonnes conditions agricoles et environnementales.

Dans ce contexte, certaines interrogations peuvent être formulées sur l'efficacité environnementale de ces mesures et leurs impacts sur les exploitations agricoles, à savoir :

Quel est le degré d'efficacité de ces mesures sur l'érosion du sol ?

Quels impacts technico-économiques auront-elles sur les exploitations qui vont adopter ces mesures ?

Appliqué à une exploitation agricole française située dans la région du Lauragais, le présent travail a pour objectif de quantifier l'impact des mesures agrienvironnementales sur la vie économique de l'agriculteur, d'une part, et sur l'érosion du sol d'autre part.

Ghali M.A. - « Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de l'écoconditionnalité et des mesures agrienvironnementales de lutte contre l'érosion - Cas du Lauragais - »

Le travail se développe en trois parties. Les deux premières sont scindées chacune en double section et la troisième en trois. Dans le premier chapitre de la première partie, nous montrerons l'ampleur du phénomène de l'érosion en descendant de l'échelle continentale (Europe) à l'échelle régionale (Lauragais), ensuite nous citerons les différentes mesures de lutte antiérosive adoptées en France en les comparant avec celles des Etats-Unis. Dans le deuxième chapitre, nous formulerons la problématique et les questions de recherches.

Dans la deuxième partie, nous exposerons, dans le premier chapitre, les différentes théories économiques qui peuvent représenter un cadre d'étude pour le problème de l'érosion, et dans le deuxième chapitre, nous énumérerons les différentes méthodes d'évaluation des externalités et des instruments politiques, en particulier dans le cas de l'érosion.

Dans la troisième partie, nous présenterons, dans le premier chapitre, la modélisation bioéconomique comme outil d'analyse pour notre problématique. Dans le deuxième chapitre, nous allons décrire le modèle économique et les scénarios à simuler. Enfin dans le troisième chapitre, nous analyserons les résultats obtenus à partir de la simulation des pratiques agricoles et environnementales de lutte contre l'érosion.

Cette étude représente une extension de celle réalisée dans le cadre de préparation du diplôme d'études approfondies (Ghali, 2006), elle comporte deux points de renforcement. Le premier concerne le principe même de la modélisation bioéconomique où le couplage entre indicateurs d'érosion et modèle économique a été remplacé par un couplage entre deux modèles (biophysique et économique) ; en effet, les valeurs d'érosion basées sur les dires d'experts ont été remplacé par des paramètres générés par un modèle agronomique appelé « Cropsyst ». Ces paramètres permettent d'améliorer la signification des résultats obtenus et la pertinence de la méthodologie adoptée.

Le second point concerne le modèle d'exploitation où des contraintes de rotation ont été introduites afin de prendre en compte la question des successions culturales qui est primordiale dans les choix de l'assolement. D'autre part, les scénarios simulés ont été mieux clarifiés et bien identifiés en se basant sur le principe de fonctionnement des mesures agrienvironnementales et de l'éco-conditionnalité.

Première partie :

Erosion des sols et politiques agrienvironnementales.

Chapitre 1. Dégradation du sol en Europe et en France et politiques agrienvironnementales

I- Problèmes de dégradation du sol en Europe

La ressource sol est d'une grande importance pour l'Union Européenne, illustrée en somme par un territoire total composé à 50,5 % d'espace agricole et de 27,9 % de terres boisées (rapport AEE¹, 1998, cité dans ECAF²). Le sol joue en effet un rôle multifonctionnel, il est à la base de 90% de l'alimentation humaine, des aliments pour animaux, des fibres et des combustibles, il constitue la dimension spatiale du développement d'établissements humains et permet la construction de logements et d'infrastructures, de lieux de divertissement et de mise en décharge. Il forme aussi une part essentielle du paysage, conserve les vestiges du passé et est en soi un élément important du patrimoine culturel.

Il constitue cependant, une ressource naturelle limitée et non renouvelable sur une échelle allant de 50 à 100 ans. En raison de sa résilience et de sa capacité à ôter les contaminants de l'environnement par filtration et absorption, les dommages ne sont généralement perceptibles qu'après avoir atteint un stade très avancé. Ceci explique en partie la faible priorité accordée à la protection du sol en Europe jusqu'à une époque récente. (AEE, 2002)

L'érosion, la dégradation des sols et les problèmes environnementaux qui y sont liés sont très substantiels en Europe et ils sont causés par les différentes activités économiques essentiellement l'activité agricole. On va s'intéresser à ses dégâts et aux rôles qu'elle peut assurer pour protéger en partie cette ressource.

Plusieurs études et rapports tel que celui de l'agence européenne de l'environnement [1998, 2002] ont montré que les techniques de l'agriculture conventionnelle sont généralement nocives pour l'environnement naturel. Ils ont augmenté considérablement l'érosion du sol et la contamination de rivières avec des sédiments, des engrais et des pesticides. En plus, ils ont augmenté l'émission de CO₂ dans l'atmosphère, contribuant à un réchauffement global et réduisant la durabilité de l'agriculture ainsi que la fertilité et la matière organique du sol ; parmi les autres effets environnementaux négatifs, on cite la diminution de la biodiversité.

En Europe, l'érosion du sol est un problème grave dans beaucoup de régions affectant tous les pays. Environ, 115 millions d'hectares (12 % du total de la surface européenne, plus du double de la surface de la France) souffrent de l'érosion hydrique et 42 millions d'ha (4 % du total des terres de l'Europe) de l'érosion éolienne (Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A. et G.Sombrok, 1991). Environ 25 millions d'ha sont gravement menacés par l'érosion en Europe occidentale et centrale. De plus, dans la région méditerranéenne, la dégradation et l'érosion du sol sont même plus prononcées. Dans cette région, l'érosion par l'eau peut entraîner une perte de 20 à 40 tonnes/ha de sol en un seul orage jusqu'à 100 tonnes/ha en situation extrême (Morgan R.P.C, 1992).

L'intensification de l'agriculture conventionnelle (augmentation de la mécanisation et du labour) de ces 50 dernières années ont largement contribué à cette tendance particulièrement en Europe Occidentale. Parmi les facteurs aggravant l'érosion en Europe, on cite le système de culture qui laisse la surface du sol nue pendant la saison pluvieuse, le brûlage des résidus de cultures, les façons culturales excessives, non respectueuse de l'environnement tout comme le travail du sol lors de conditions à faible humidité, le labourage en profondeur des sols fragiles et la culture des plantes favorisant l'érosion tel que le maïs.

¹ AEE : Agence européenne pour l'environnement

² ECAF : *European Conservation Agriculture Federation*

L'agence européenne de l'environnement reconnaît clairement que « la dégradation du sol est un problème environnemental clé en Europe ou peu de progrès des politiques ou une évolution peu favorable de l'état de l'environnement ont eu lieu au cours des dernières années ». Elle ajoute « l'érosion et la dégradation du sol constituent de sérieux problèmes dans beaucoup de régions autour de la méditerranée ». (AEE, 2002)

II- L'Erosion en France : région de Midi-Pyrénées

1- Types d'aléas érosifs

Etant donnée sa superficie relativement grande et son ouverture sur la mer méditerranéenne, la France se place sur le continent européen à la fois comme un pays septentrional et comme un pays méditerranéen. Cette caractéristique fait que ce pays est exposé aux différentes formes d'érosion de sols qui existe en Europe.

En effet, le travail réalisé par le service d'étude des sols et de la cartographie pédologique de France (SESCPF) de l'INRA avec le soutien de l'Ifen³ et du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE) pour établir une carte de l'aléa « érosion des sols » sur l'ensemble du territoire, a permis d'identifier quatre types d'aléas érosifs à savoir : (INRA-Ifen-MATE.1998)

A- Type 1 : érosion en régions de grandes cultures

Cette érosion est subdivisée en deux sous types :

Sous-type 1 : érosion automnale et hivernale par concentration du ruissellement

Sur les terrains nus ou peu couverts, imperméabilisés par une croûte de battance, une pluie même faible déclenche un ruissellement important. Ce ruissellement entraîne une érosion diffuse (Le Bissonnais *et al.*, 1996), et peut se concentrer dans les talwegs (ligne joignant les points les plus profonds d'une vallée ou du lit d'un cours d'eau) et acquérir localement des valeurs critiques de débit, entraînant la formation de ravines (Ludwig, 1993 ; Soulier, 1995).

Les facteurs déclenchants de l'érosion pour le sous-type 1 sont, par ordre d'importance :

- **la sensibilité à battance** (sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance) : sur des sols battus, le ruissellement peut survenir même sur des pentes faibles (inférieures à 5 %) et lors de précipitations peu élevées ;
- **l'occupation des sols** : l'absence de protection par un couvert végétal significatif en automne et en hiver. Les chantiers de récoltes, les cultures d'hiver et les inters cultures nues sont favorables au ruissellement (Gallien *et al.* 1995 ; Martin, 1996).

Sous-type 2 : érosion lors des orages de printemps et d'été

Lors des orages de printemps et d'été, l'érosion affecte les sols non ou/peu couverts par la végétation et affinis pour le lit de semence des cultures de printemps. Les particules de terre sont facilement arrachées et entraînées par les pluies de forte intensité.

Les facteurs déclenchants de l'érosion pour le sous-type 2 sont :

- **l'occupation des sols** : absence de protection par un couvert végétal lors des orages de printemps et du début de l'été (cultures de printemps) ;
- **les précipitations** : de fortes intensités au printemps ;
- **la sensibilité à la battance** : si les sols n'ont pas été retravaillés ; et **la pente** : si les sols ne sont pas battus.

³ Ifen : Institut français de l'environnement

B- Type 2 : érosion de vignobles et de vergers

Selon les deux principaux types de gestion des inters rangs, il correspond deux types de fonctionnement de l'érosion différents : lorsque la vigne est désherbée chimiquement, le sol tassé et imperméabilisé est à l'origine de la formation du ruissellement qui, en se concentrant, peut provoquer des dégâts importants à l'aval. Lorsque les inters rangs sont travaillés, le ruissellement est moins fréquent, mais s'il intervient, l'érosion décape facilement le sol ameubli, d'autant plus que la pente est forte.

Les facteurs déclenchants de l'érosion pour le type vignoble sont :

- **l'occupation des sols**. La taille des parcelles et leur localisation dans le paysage agricole ont une grande importance.

- **les pentes et la battance** : pentes fortes pour une battance moyenne et pentes faibles pour une battance forte.

C- Type 3 : érosion de montagne

Cet aléa est lié notamment à l'instabilité des matériaux parentaux, et peut-être du ravinement ou des glissements de terrains dans les zones agricoles. D'autres phénomènes sont typiquement montagnards tels que la solifluxion, les glissements de terrains de grande ampleur ou les laves torrentielles.

L'érosion des zones agricoles de montagne est fonction :

- **de l'intensité des pentes**, souvent supérieures à 30 % ;

- **de l'intensité des précipitations**, généralement élevées en toutes saisons ;

- **de l'érodibilité des terrains** : les matériaux parentaux instables peuvent être le siège de mouvements de terrains ou de ravinements importants.

D- Type 4 : érosion méditerranéenne

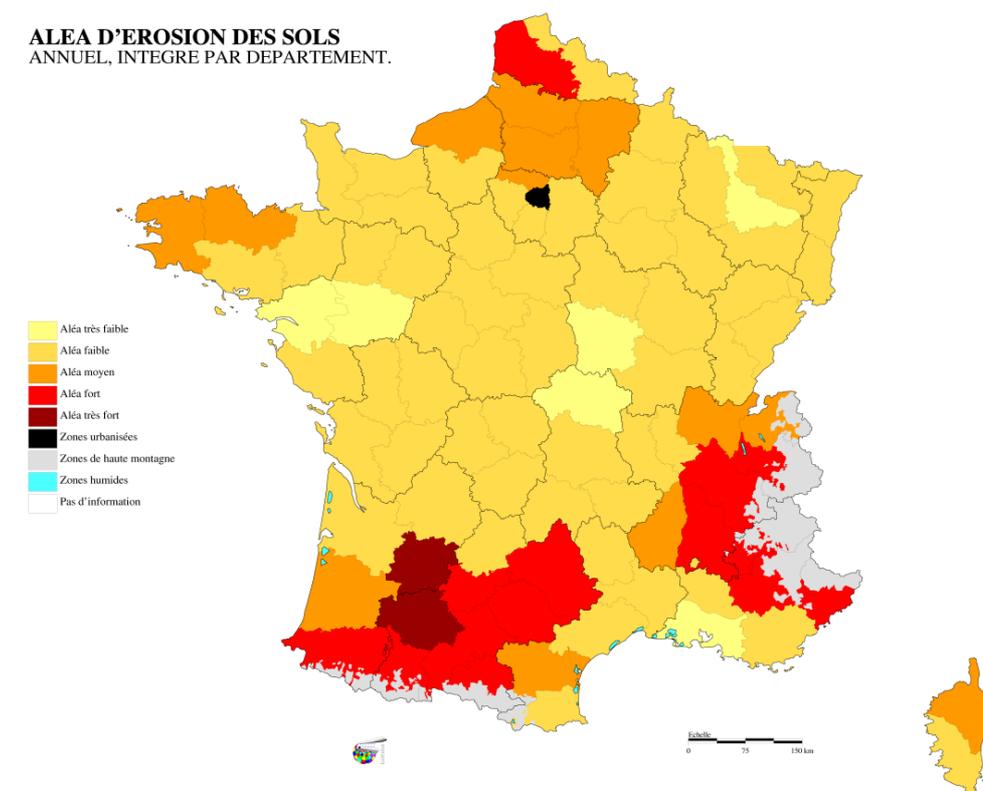
Sa spécificité vient d'un climat contrasté : sécheresse et orages d'été et d'automne violents. Ce type d'érosion affecte tous les types de cultures et peut provoquer des dégâts importants, souvent localisés à la zone orageuse. On retrouve aussi dans la zone méditerranéenne tous les autres types précédemment décrits.

On note aussi que les coulées boueuses dont la distribution est variable sont une manifestation spectaculaire du phénomène d'érosion, et ils ont des conséquences économiques directes : destruction de terres agricoles, submersion des routes et dans des rares cas des pertes en vie humaines (juin 1997, 3 morts près de Rouen). L'inventaire des coulées boueuses dressé à partir des dossiers de déclaration de "catastrophe naturelle" recense 5 812 événements entre 1985 et 1995 et met en évidence les régions les plus affectées par les coulées boueuses : Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Haute-Normandie, Alsace, Rhône-Alpes, Ile-de-France, Midi-Pyrénées (INRA-Ifen-MATE.1998).

A côté de l'érosion, les sols en France sont soumis à de multiples pressions et il sont menacés par différents types de dégradations : pratiques agricoles conduisant à la surexploitation, pollutions industrielles, "artificialisation" due au développement d'infrastructures routières et à l'urbanisation. Cette artificialisation qui recouvre 8% de la surface du territoire, est en progression annuelle moyenne de 50 000 hectares stérilisants durablement les meilleures terres aux alentours immédiats des agglomérations. La moitié des 800 000 tonnes de matière sèche de boues de stations d'épuration produites annuellement en France sont épandues sur des terrains forestiers ou agricoles, en guise de fertilisant. Cela entraîne la dissémination sur le sol de germes pathogènes et de substances polluantes, tels que les métaux, susceptibles de migrer vers les nappes d'eau ou d'être incorporés aux chaînes alimentaires. Le sol est aussi menacé par des pollutions industrielles concentrées, interdisant son usage pour plusieurs années. En 1996, 895 sites pollués ont été répertoriés, dont 41% dans les régions Nord-Pas-de-Calais, Ile-de-France et Rhône-Alpes (INRA-Ifen-MATE.1998)

Certes, les pratiques agricoles restent une principale cause d'accentuation de l'intensité d'érosion ; en effet, dans les zones agricoles, l'utilisation de matériels d'exploitation lourds réduit la porosité du sol et contribue à la diminution de son activité biologique, tandis que l'intensification du travail du sol, l'irrigation et les rotations des cultures accélérées font baisser localement le taux de matière organique, composant essentiel de la fertilité et facteur de stabilisation des couches les plus superficielles du sol vis-à-vis de l'érosion.

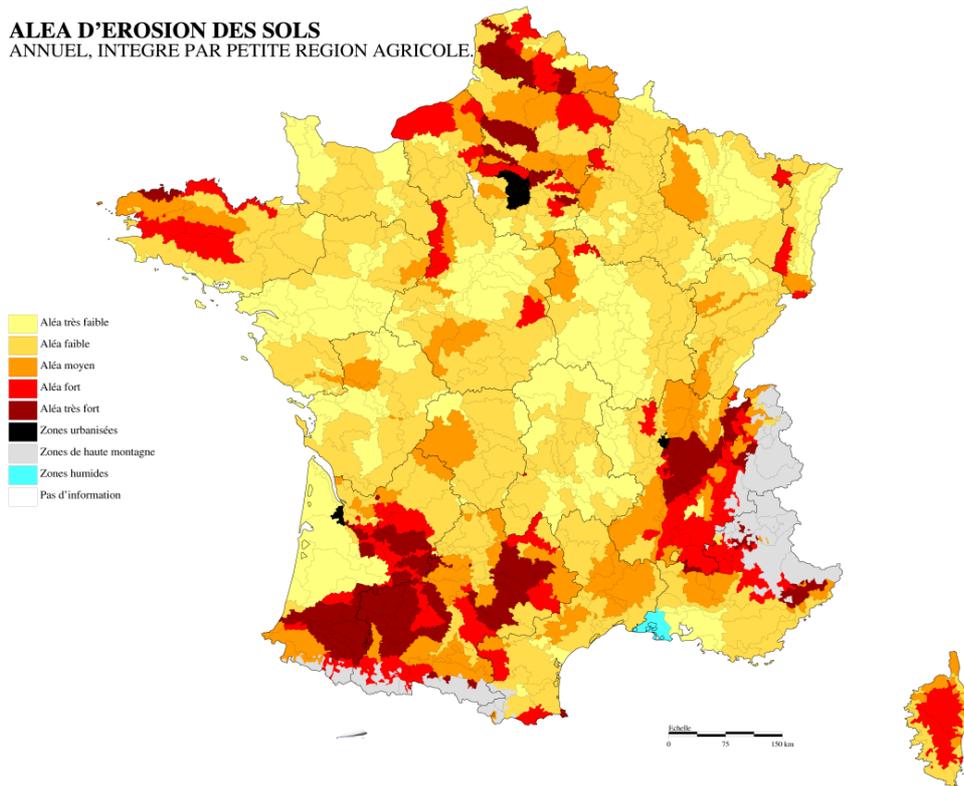
La visualisation des cartes de l'aléa « érosion des sols » en France par département et par petite région agricole (cartes 1 et 2) met en évidence l'existence de plusieurs régions qui sont fortement touchées par l'aléa érosion des sols tel que le nord, le nord et l'est du Bassin parisien, la vallée du Rhône et les Alpes et le sud-ouest comportant la région de Midi-Pyrénées et plus précisément le Lauragais dans lequel va se baser notre étude.



Carte 1 : Aléa d'érosion des sols annuel intégré par département

Source : **IFEN – INRA- MATE, [en ligne]**

ALEA D'EROSION DES SOLS
ANNUEL, INTEGRE PAR PETITE REGION AGRICOLE.



Carte 2: Aléa d'érosion des sols annuel intégré par petite région agricole
Source : **IFEN – INRA- MATE, [en ligne]**

2- Erosion dans la région de Midi-Pyrénées

La connaissance des sols de Midi-Pyrénées progresse modestement permettant d'approcher de manière partielle un état des lieux régional. En effet les travaux de l'INRA déjà mentionné ont permis de dégager quelques résultats en terme d'intensité de l'aléa érosif concernant la région de sud ouest et particulièrement la Midi-Pyrénées.

Cette région méridionale présente de vastes zones à risques très forts, notamment à cause des précipitations très élevées en particulier sur les reliefs.

▪ La région de Toulouse

Dans cette région, de nombreuses coulées de boue ont été déclarées. Ceci vient du fait que les précipitations moyennes saisonnières sont faibles, mais que les problèmes d'érosion dans cette région s'expliquent par la combinaison de violents orages et d'une forte proportion de cultures de printemps. Les sols ne sont pas sensibles à la battance, mais le ruissellement prend naissance dans les zones où la molasse (Roche détritique qui résulte de la désagrégation d'une roche préexistante et qui comporte du grès, de l'argile et du quartz) affleure ou sur les terrasses anciennes recouvertes de lambeaux de limons.

▪ L'Aveyron

C'est une zone de forte sensibilité où les aléas peuvent être de 2 types :

- Un aléa de type montagne : Les pentes sont fortes et les conditions climatiques méditerranéennes sont à l'origine d'orages violents et de fortes précipitations au printemps et en automne.
- L'aléa de la zone des "rougiers de Camarès" : Les cultures fourragères se trouvent sur des versants en pente forte (pentes dominantes entre 20 et 40 %), les sols sont naturellement sensibles et peu épais et le substrat est très friable (alternance de faciès schisteux et argilo marneux). Le défrichement de ces terrains depuis 40 ans est à l'origine des nombreux problèmes d'érosion : 80 % des terres cultivées sont affectées

Ghali M.A. – « Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de l'écoconditionnalité et des mesures agrienvironnementales de lutte contre l'érosion - Cas du Lauragais - »

par une érosion en nappe et de l'érosion en rigoles, en ravines et en *bad-lands* (Guillerm, 1994 ; Barthès *et al.* 1997).

▪ Le Lauragais

Dans cette région, l'aléa érosif est élevé au printemps et en hiver et de nombreuses « coulées de boue » ont été recensées. Le facteur primordial expliquant les problèmes de Lauragais est le relief, les versants étant raides, quoique courts (de 250 m à 1 Km). Les cultures se trouvent sur des versants en pentes assez fortes (10 à 20%), sur des parcelles qui occupent souvent toute la longueur du versant, et le ruissellement n'est pas arrêté par des obstacles qui coupent le versant (Revillon, 1984 ; Dubucq, 1989).

D'autres travaux de niveau national, consacré au constat localisé des phénomènes de coulées boueuses ont montré que le Midi – Pyrénées figure parmi les régions fortement concernées par ce phénomène (7^{ième} rang national). La topographie marquée de la région, l'abondance des pluies printanières, ainsi que des caractéristiques géologiques locales particulières, couplées avec des pratiques culturales non adaptées, constituent les principaux facteurs provoquant les coulées boueuses essentiellement sur les secteurs des coteaux molassiques de la Gascogne, de la région de Toulouse, et dans l'Aveyron, des rougiers de Camarès notamment. (cf. étude CESR « L'avenir des sols de Midi-Pyrénées – Un défi pour un développement durable »)

3- Spécificité agricole de la région et érosion du sol

La Politique Agricole Commune a eu des effets importants sur les systèmes de production notamment à cause de l'évolution du montant des aides par production. En ce qui concerne les productions de grandes cultures dans la région de Midi-Pyrénées : les surfaces en jachère ont progressé, tout comme celles en oléo-protéagineux (+9% dus à l'augmentation de la prime), alors que celles en céréales ont baissé (-9% surtout dus à l'orge et au blé) exception faite de celles en maïs et blé dur. Les surfaces dédiées aux animaux se sont réduites (Montgobert, 2004 dans l'agriculture en midi Pyrénées (notes de cours)). Avec la tendance à l'ajustement des aides, insufflée par l'Agenda 2000, les céréales ont repris de terrain, les protéagineux ont encore un peu augmentés mais il s'est produit l'inverse pour les marneux.

Aujourd'hui, Midi-Pyrénées est au premier rang des régions pour le soja et le blé dur, au deuxième pour le tournesol et au troisième pour le maïs, la culture la plus irriguée (Montgobert, 2004).

Les principaux facteurs permettant d'expliquer l'aggravation du phénomène naturel sont l'abandon de l'élevage, la simplification des systèmes de culture, la fragilisation des sols par des techniques culturales intensives, l'accroissement des parcelles. La combinaison de ces facteurs est aggravée dans les zones à fortes pentes.

En effet, les espèces cultivées laisse le sol nu pendant une période assez importante tel que la culture du maïs où 300 à 500 tonnes de terre par ha et par an disparaissent. D'autres cultures (tournesol, soja) laissent le sol découvert début mai et fin juin où le vent et les orages violant du début d'été aggravent les pertes qui peuvent atteindre 1500 tonnes c'est-à-dire 20 cm de terre enlevée en une année (Bonflis M., [en ligne]).

Le bocage (zone rurale où les champs, les prairies et les habitations dispersées sont séparés par des haies d'arbres et des bosquets) qui occupait la majeure partie des campagnes du Midi-Pyrénées a laissé place à un paysage beaucoup plus ouvert. C'est dans un objectif de rentabilité d'un matériel de plus en plus puissant et performant que les opérations de remembrement ont restructuré le parcellaire en supprimant les haies, les talus et les fossés.

Ainsi, dans ce contexte, l'accroissement de la taille des parcelles liée à la disparition des surfaces herbagères a généré un problème quasi inexistant jusqu'alors : le ruissellement érosif.

Les conséquences de cette érosion hydrique laissent apparaître des dégâts à deux niveaux : sur la parcelle de l'agriculteur et sur le domaine public.

Les dégâts sur la parcelle se traduisent par une perte en sol due au décapage de la couche arable qui sort de la parcelle, et une diminution de la fertilité des sols entraînant des baisses de rendements.

Sur le domaine public, les dégâts concernent les coulées de boues sur les routes départementales et communales, les glissements de talus, le ravinement des chaussées, la pollution des rivières par les nitrates, les phosphates et les produits phytosanitaires.

D'autre part, les pratiques agricoles non conservatrices de l'environnement sur des pentes assez fortes ne font qu'accroître le problème d'érosion.

4- Le Lauragais comme zone d'étude

Appartenant à la région de Midi-Pyrénées le Lauragais est un territoire à forte empreinte agricole. La plus part des exploitations est consacrée aux cultures céréalières avec le blé dur comme espèce dominante, il couvre 34% de la SAU du Lauragais. La culture de tournesol s'est fortement développée et représente plus d'un quart des surfaces labourables. Le reste de ces surfaces est consacré à la culture des pois, du soja, du maïs et du colza. Le Lauragais n'a pas une grande tradition d'élevage. Dans l'ensemble, ces activités ont fortement diminué au profit des grandes cultures (Charte du pays Lauragais, 2002 [en ligne]). Ces spécificités du système de production associées à la nature du relief et aux conditions climatiques dans la région font que les agriculteurs se trouvent confrontés à plusieurs manifestations du phénomène de l'érosion tel que l'apparition de rigoles parfois profondes, comblement de fossés, cultures emportées, coulées de boue sur les routes et affleurement calcaires. C'est qui a montré l'enquête menée par la Chambre d'Agriculture de Midi-Pyrénées dans le bassin versant du Tissié. Près de 34000 € (223000 FF) ont alors été dépensés pour lutter contre l'érosion (rapport chambre d'agriculture de Haute-Garonne 2000, dans ENSEIHT, 2003 [en ligne]).

Ces caractéristiques agricoles et naturelles de Lauragais font qu'elle soit une zone à risque érosif très fort comme l'a montré la carte d'aléa d'érosion par région agricole, ce qui explique notre choix pour cette région comme zone d'étude représentative du Midi-Pyrénées.

Devant la gravité de ce problème et en raison des préoccupations liées à la qualité de l'alimentation et l'eau, on assiste aujourd'hui à une réelle prise de conscience de l'importance de protéger durablement le sol, en tant que base de la production alimentaire, mais également de préserver ses fonctions environnementales vis-à-vis de la qualité de l'eau, des chaînes alimentaires, ou encore comme réservoir biologique.

III- Mesures et politiques agri-environnementales en matière de protection des sols agricoles

1- Nature des mesures agri environnementales

L'Europe était parent pauvre des politiques environnementales spécifique à la conservation de la ressource sol (Francoeur Louis- Gilles, 2002 [en ligne]). En effet au niveau communautaire et jusqu'à l'année de 2002 la commission européenne a souligné lors de sa communication du 16 avril 2002 qu'aucune politique européenne explicite luttant contre la dégradation des sols n'existait. Néanmoins, les activités menées dans le cadre d'autres politiques (environnementale, agricole, régionale, des transports, de la recherche) ont une influence sur la protection des sols.

La question d'amélioration des performances environnementales de l'agriculture dans les pays d'OCDE a trouvé de l'importance vers le milieu des années 80 où un grand nombre de programmes destinées à faire face aux problèmes environnementaux se posant dans l'agriculture ont été introduites. Ces programmes peuvent recourir à une gamme de mesures :

- Incitatives : instruments économiques (paiements, taxes et redevances d'environnement, droits négociables)
- De règlement : instruments de maîtrise et de contrôle (dispositions réglementaires, mécanismes d'écoconditionnalité)
- De soutien : mesures de conseil et de soutien aux institutions (OCDE, 2003)

Cependant en étudiant le travail effectué par l'OCDE sur l'évolution des mesures agrienvironnementales dans les pays développés on a remarqué des divergences des objectifs de certaines mesures entre les Etats-Unis et l'Union Européenne. Alors que les politiques américaines mises en place visent dans une large mesure ou ayant pour principal objectif la protection des sols contre l'érosion on trouve que cette préoccupation presque négligée dans l'Union Européenne malgré l'ampleur du problème d'érosion évoqué dans plusieurs rapports et études faites en Europe.

2- Politiques de conservation des sols

Ce n'est que lors du sixième programme d'action pour l'environnement qu'a été souligné la nécessité d'une stratégie communautaire en matière de protection des sols qui compléterait plusieurs programmes nationaux de protection des sols et qui répondent aux besoins de conditions topographiques et climatiques particulières.

Cette stratégie a été mise en place ensuite par l'élaboration de directives réglementant l'utilisation du compost et des boues d'épuration en agriculture et principalement par le renforcement des critères d'écoconditionnalité, lors de la réforme de 2003, visant le respect des normes relatives aux conditions agronomiques et écologiques des sols, notamment la lutte contre l'érosion, le maintien de la structure des sols et leurs teneur en matières organiques.

Les mesures de protection des sols s'inscrivent dans le domaine de « Bonnes conditions agricoles et environnementales » dont on cite celles ayant une correspondance avec la lutte contre l'érosion.

Mesure 1 du domaine BCAE : Mise en place d'une surface minimale en couvert environnementale
« Sauf pour les exploitants qui ne sont pas soumis au gel obligatoire du fait de leur statut de « petit producteur », mise en place d'une surface équivalente à 3 % de la surface en céréales, oléo protéagineux et gel de l'exploitation, en bandes enherbées ou avec un couvert à intérêt environnemental ».

Ces bandes doivent être localisées en priorité le long des cours d'eau de l'exploitation. Les surfaces en herbe le long des cours d'eau seront prises en compte dans le calcul du respect de cette obligation dans la limite de la largeur de la bande. Ces bandes doivent en effet, être au minimum de 5 m et au maximum de 10 m et dans le cas de parcelles entières, pourra être prise en compte pour le calcul du respect de l'obligation une largeur jusqu'à 10 m maximum.

Si après avoir localisé les bandes enherbées le long des cours d'eau, l'obligation n'est pas remplie, d'autres bandes devront être localisées de façon pertinente (ruptures de pentes, le long des éléments fixes du paysage, les bordures de parcelles...).

Les bandes peuvent être déclarées au titre du gel PAC si les terres concernées sont admissibles aux droits gel et si le couvert de la jachère correspond à ceux décrits dans cette mesure (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales (MAAPAR), 2004 [en ligne]).

Ces bandes limitent les ruissellements superficiels et jouent le rôle de filtre chimique. Leur action se situe à deux niveaux : lutte contre l'érosion et contre la pollution. Leur efficacité est examinée sur base de la rétention des sédiments érodés.

Leur coût se situe à trois niveaux :

- Sur le manque à gagner, étant donné l'espace exploitable perdu, surtout si la culture est du tournesol (abondante dans la région de Lauragais)
- Sur les frais d'installation (achat de graines, travail de préparation du sol, semis)
- Sur l'entretien (broyage)
-

Mesures d'entretien minimal des terres :

L'entretien minimal des terres vise à maintenir les terres de l'exploitation agricole (cultivées ou non) dans un bon état agronomique, sanitaire et de non embroussaillage afin d'éviter la détérioration de leur

potentiel productif. À partir de 2006, ces mesures concernent notamment les terres non mises en production mais déclarées pour le bénéfice de l'aide découplée.

Les terres porteuses d'une aide directe (couplée ou découplée) sont classées en quatre catégories :

- Les terres en production (Céréales, Oléagineux, Protéagineux, ou autre culture annuelle ou fruits à coque) ;
- Les surfaces en herbe (Pâturages permanents et estives, prairies temporaires) ;
- Les terres gelées ;
- Les terres non mises en production

Ces mesures d'entretien tel qu'elles sont définies dans le texte de la réforme sont au nombre de 5 (mesures 5, 6, 7, 8 et 9), mais il n'y a que trois parmi elles ayant pour objectif la lutte contre l'érosion à savoir :

Mesure 7 du domaine BCAE : « Règles d'entretien sur les terres en gel obligatoire PAC ou admissible aux droits jachère ».

Les règles à respecter sont celles des arrêtés préfectoraux d'entretien des jachères existants qui sont repris. (MAAPAR, 2004 [en ligne]).

Comme exemple d'arrêtés on cite le fauchage ou le broyage des parcelles soumises au gel est interdit du 05 mai jusqu'au 13 Juin (région de la manche année 2005).

Entretien des jachères :

- L'utilisation des herbicides et les travaux superficiels sont possibles après le 1er juillet
- Sol nu interdit
- Repousse des céréales à paille autorisée

Mesure 8 du domaine BCAE : « Règles d'entretien pour les surfaces en herbe déclarées en Prairies temporaires, Pâturages permanents ou estives admissibles à l'aide découplée ».

Toutes les prairies dès lors qu'elles sont en herbe depuis 5 ans, c'est à dire dès la 6ème année.

Est considéré comme "pâturage permanent" toute terre consacrée à la production d'herbe et d'autres plantes fourragères herbacées qui ne fait pas partie du système de rotation des cultures de l'exploitation depuis 5 ans ou davantage.

L'agriculteur devrait déclarer en prairies permanentes Les surfaces en herbe doivent être entretenues selon les conditions normales d'entretien des pâturages et des prairies, définies par les départements.

Les règles d'entretien minimales peuvent porter sur :

- Critère de chargement minimal sur l'exploitation ou pâturage ou une fauche/an avec preuve du produit de vente de la fauche.
- Absence d'adventices jugés indésirables.
- Absence de montée en graine des espèces jugées indésirables.

Mesure 9 du domaine BCAE : « Règles d'entretien sur les terres admissibles à l'aide découplée qui ne sont pas mises en production ».

Ces terres dans les déclarations correspondraient à celles déclarées en « autres utilisations du sol » et activant de l'aide découplée.

➤ Interdiction des sols nus et implantation d'un couvert à intérêt environnemental :

- Les repousses culturales sont interdites la première année.

Les terres doivent être ensemencées avec un couvert permettant une couverture suffisante du sol, et ce pendant toute l'année, et choisi dans la liste des couverts à intérêt environnemental faunistique ou floristique établie par préfets de départements, les fréquences de semis du couvert sont définies également par arrêté préfectoral.

- Entretien du couvert par les moyens appropriés, pour une gestion environnementale de la faune et de la flore.
 - Entretien par des moyens appropriés : fauche, broyage, emploi de produits phytosanitaires selon des conditions très limitatives, autorisés dans les arrêtés préfectoraux définis à cet effet.
 - Respect des périodes autorisées de fauche et de broyage de l'arrêté du 13 mai 2003 (15 avril au 15 juillet), sauf dérogations des départements.
- Etat sanitaire et d'embroussaillage :
- Absence d'adventices et de broussailles indésirables.
 - Absence de montées en graine des espèces indésirables (arrêtés jachère PAC).
 - Absence de recrues jeunes de broussailles : l'objectif est de limiter l'apparition des nouveaux ligneux : les jeunes recrues de broussailles doivent être détruites par la pâture ou l'entretien.
 - Dans le Code rural sont décrites les procédures de récupération des terres incultes : dans le cas où des terres bénéficiant de l'aide dé耦plée sont soumises à cette procédure, les exploitants concernés seront sanctionnés au titre de la conditionnalité.

Le tableau n°1 illustre la correspondance entre les mesures prises dans le cadre de « bonnes conditions agricoles en environnementales » et les différents types de dégradation du sol.

Tableau n°1 : correspondance entre les mesures et les types de dégradation du sol

Mesures	Erosion des sols	Matières organiques des sols	Structure des sols	Niveau minimal d'entretien
M1 : Bandes enherbées	X			X
M2 : Brûlage des pailles		X		
M3 : Diversité des cultures		X	X	
M4 : Mesures prélèvement irrigation			X	
M5 : règles générales d'entretien des terres				X
M6 : règles d'entretien des terres cultivées				X
M7 : règles d'entretien des terres en gel	X			X
M8 : règles d'entretien des surfaces en herbe	X			X
M9 : règles d'entretien des terres qui ne sont pas en production (couverture du sol toute l'année)	X			X

Source : OCDE, 2003

Il est important de signaler que ces mesures agro-environnementales vont conditionner l'octroi des aides publiques, et le non respect peut avoir une double conséquence : la réduction ou la suppression des aides directes d'une part et les poursuites judiciaires pour non respect de la législation d'autre part.

3- Mesures comparées de lutte antiérosive

L'objectif de ce paragraphe est de comparer les mesures antiérosives retenues par la France dans le cadre de la politique agricole commune, d'une part, avec les différentes méthodes scientifiques utilisées dans la lutte contre l'érosion, et d'autre part, avec les mesures appliquées aux Etats-Unis.

L'organisation de la lutte contre l'érosion doit se réaliser à plusieurs niveaux complémentaires englobant des moyens agronomiques et hydrauliques.

- Les techniques culturales de lutte contre l'érosion tournent autour de trois axes :

- ✓ L'amélioration de la stabilité de la structure et la porosité par amendements humiques et calciques, rotation des cultures.
- ✓ Limitation du ruissellement par des pratiques adaptées tel que le travail du sol motteux limitant la battance, le labour grossier, le déchaumage, l'utilisation d'un équipement pneumatique et peu agressifs limitant le tassement pour augmenter la perméabilité du sol.
Piéger le ruissellement dans les parcelles par des couvertures végétales hivernale, jachères libres ou fixes, débris végétaux en surface, travaux agricoles en travers de la pente, billonnage transversal, alternances des cultures
Empêcher la concentration des eaux dans les traces des roues, dérayures et les fourrières
- ✓ Eviter l'arrachement du sol sur les passages d'eau : non- déchaumage et compactage après le semis.
- Lutte par actions sur le paysage : les objectifs de ces actions sont le cloisement du paysage afin de réduire les débits, accompagner l'eau vers l'aval sans dommage pour les sols et les habitations et favoriser la sédimentation en enherbant le tracé des écoulements.

Ces objectifs peuvent être réalisés :

- ✓ En limitant les volumes de ruissellement par des talus, bandes boisées, plis, diguettes, fascines, clayonnages.
- ✓ En organisant l'écoulement des eaux par des bandes enherbées, fossés de stockage, mares et retenues.
- ✓ En protégeant contre les inondations par des bassins de rétention et aménagement des exutoires

En comparant ces techniques avec celles faisant objet de notre étude on remarque une faiblesse de ces dernières puisqu'elles ne contiennent que des techniques culturales consistant seulement à un entretien minimal pour les terres mises hors cultures ou en prairie alors qu'il y a négligence pour les terres mises en production et dont l'application des techniques antiérosives peuvent limiter considérablement les effets de l'érosion.

D'autre part en se référant à la longue expérience américaine en matière de protection de l'environnement notamment celle de conservation des sols contre l'érosion qui date dès années 30 on remarque une large avancée des américains par rapport à l'Europe dans ce domaine. En effet les Etats Unis ont créé en 1985 un programme connu sous le nom de « Conservation Reserve Program » qui répond essentiellement à la préoccupation de conservation des sols vis à vis de l'érosion.

Ce programme consiste à retirer des terres cultivées de la production pour une durée de 10 à 15 ans. Les opérations subventionnées dans le cadre du programme concernent la remise en herbe ou la plantation d'arbres sur des terres sensibles à l'érosion. Initialement ouvert potentiellement à l'ensemble des terres cultivées, le programme a été recentré sur les terres les plus sensibles (HEL - *Highly Erodible Lands*) en 1996.

Dans le cadre de cette orientation, l'agriculteur est tenu aussi de suivre un plan de conservation qui précise les pratiques culturales qui seront appliquées à chaque parcelle. L'ensemble des pratiques culturales s'appliquant à une exploitation est appelé système de conservation (*conservation system*). Plus de 4000 systèmes différents ont pu être identifiés pour l'ensemble des Etats-Unis. Ils varient en fonction du climat, de la topographie, de la nature des sols, des types de cultures et des pratiques culturales antérieures. Les pratiques les plus utilisées sont :

- la rotation des cultures à titre conservatoire (*conservation cropping sequence*),

- le semis direct sans labour préalable ou avec un travail simplifié du sol,
- le maintien de résidus de culture après récolte (*crop residue use*),
- le labour et le semis en suivant les lignes de niveaux (*contour farming*),
- la mise en place de terrasses,
- L'implantation de chenaux des eaux enherbés (*grassed waterways*).

Ce passage rapide et non détaillé des pratiques de lutte contre l'érosion aux Etats-Unis et les mesures suggérées par la communauté scientifique spécialisée dans cette question, nous permet, en premier lieu, de remarquer que les pratiques introduites par la politique agricole commune sont relativement faibles pour répondre à un problème assez important comme l'érosion des sols et en deuxième lieu, peut nous servir après comme scénarios pour comparer leurs efficacité environnementale avec celle induite par les pratiques européennes.

Chapitre 2. Position de la problématique et des hypothèses de recherche

I- Problématique

En se basant sur les éléments du constat, trois conclusions principales peuvent être retenues :

- L'érosion du sol en Europe est une réalité observée notamment dans la région de Lauragais du Midi-Pyrénées, dont la gravité peut être accentuée par plusieurs paramètres physiques difficilement modifiables (reliefs) combinés à certaines pratiques et techniques agricoles (formes d'occupation du sol, travail du sol, ...).
- Le problème d'érosion a une incidence économique importante sur les terres agricoles affectées mais aussi sur les infrastructures publiques locales. Des estimations faites par la fédération des associations d'environnement en Belgique sur la région de Wallonie ont montré que le coût de l'érosion peut augmenter le coût de la production agricole d'environ 25 % par an (53 euros/ha/an). En plus, si les coûts de ces incidences sont combinés, le coût total de l'érosion peut être estimé à environ 85,5 Euros/ha de culture et par an (Inter Environnement Wallonie, 2004 [en ligne]).
- La prise en compte de l'érosion du sol dans la politique agrienvironnementale de l'Union Européenne (UE) n'est pas proportionnelle à l'ampleur du problème. Il a fallu attendre la nouvelle réforme de la PAC pour que l'UE introduise dans sa législation certaines pratiques agricoles visant l'atténuation du phénomène de l'érosion et conditionnant l'octroi des aides publiques.

L'importance du problème érosif accompagné par une faiblesse des mesures agrienvironnementales en la matière, laisse poser certaines interrogations portant sur l'efficacité environnementale de ces mesures ainsi que les effets technico-économiques qu'elles génèrent.

- ✓ *Ces mesures agrienvironnementales liées aux bonnes pratiques agricoles sont-elles en mesure de répondre à leur principal objectif, celui de lutter contre l'érosion du sol ? Quels sont leurs degrés d'efficacité notamment en matière de conservation de la ressource sol et de protection de l'environnement ?*
- ✓ *Quels sont leurs impacts sur les choix techniques ainsi que sur les systèmes de production agricoles ?*
- ✓ *Quelles incidences économiques peuvent avoir ces pratiques sur la viabilité de l'exploitation et sur la durabilité du système de production ? Vont-elles pénaliser les agriculteurs en termes de coûts supplémentaires et de baisse de revenu ?*

Appliqué à la région de Lauragais (Sud-ouest de la France), on aura comme objectif principal, donc, de répondre à ces interrogations par l'analyse et l'anticipation, à l'échelle de l'exploitation, des effets technico-économiques et environnementaux des mesures proposées dans le cadre de la politique agrienvironnementale sur, notamment, l'érosion du sol, les choix de productions, les systèmes de production et les revenus agricoles.

II – Les hypothèses de recherche

Partant de nos interrogations et selon l'approche méthodologique envisagée, nous comptons tester les hypothèses suivantes :

La première hypothèse est relative à la question d'ordre physique alors que la deuxième et la troisième s'intéressent au volet économique et technique de l'intervention.

Hypothèse 1: Les mesures de lutte anti-érosive peuvent ne pas avoir un effet observable à court terme mais elles pourraient engendrer une amélioration de l'efficacité environnementale (réduction de l'érosion, amélioration de la structure du sol.. .) à long terme.

Hypothèse 2 : Ces mesures vont provoquer une baisse de revenu à cause de coûts d'entretien et de la baisse de des superficies cultivées mais qui sera relativement compensée par les aides de la PAC.

Hypothèse 3 : Ces mesures peuvent avoir un impact direct sur les choix techniques et productifs.

Afin de tester ces hypothèses, il est nécessaire d'adopter une méthodologie capable de prendre en compte les aspects économiques et physiques de l'activité agricole et de quantifier les coûts et les avantages induits par le respect de ces mesures.

Deuxième partie :
Positionnement théorique de l'érosion
et méthodes d'estimation

Chapitre 1. Production, érosion et théories économiques

A - L'érosion du sol vu par les courants de pensées contemporains en économie de l'environnement

La diversité des causes, des formes et des effets de l'érosion rend l'explication théorique de ce phénomène très compliquée. En effet la conceptualisation et l'analyse du phénomène érosif dû par exemple à l'usage intensif des cultures céréalières et des techniques culturales mécanisées renvoient à l'économie de l'environnement, l'économie écologique et l'économie des ressources naturelles. Elle renvoie aussi tant à l'économie privée de l'exploitant agricole, qui doit adapter ses pratiques agricoles, qu'à l'économie publique, si l'on est en présence de dégâts hors du domaine privé de l'exploitant agricole et si un collectif d'agriculteurs est aidé dans la mise au point d'une action anti-érosive,...etc.

L'objectif du présent chapitre est d'expliquer les considérations des différents courants de pensées économiques pour le problème de l'érosion et énumérer leurs méthodes d'analyse afin d'identifier celle répondant au mieux à notre questionnement.

I – L'érosion vu par la nouvelle économie publique

Le rôle de l'Etat et des pouvoirs publics dans l'économie définit le principe de base de l'économie publique qui cherche à expliquer et à évaluer les politiques publiques de nature économique. Ces politiques sont définies comme « l'ensemble d'actions plus ou moins explicites mises en œuvre par une autorité publique (l'Etat), une autorité décentralisée ou une autorité déconcentrée, en vue d'obtenir certains résultats à l'aide d'instruments de contraintes, d'incitations et d'exécution » (Boisson J. M., 2004).

La conjonction entre les concepts développés par cette discipline relativement jeune et notre travail à pour but essentiel d'expliquer la justification de l'intervention des pouvoirs publics dans le cadre des politiques agrienvironnementales.

En fait les pouvoirs publics interviennent pour faire face aux défaillances du marché qui d'après les économistes néoclassiques apparaissent lorsqu'il s'agit de la présence d'un bien public, des effets externes ou d'un monopole naturel (Young R.A., 1993, cité par Louhichi, K., 1997).

En présence d'effets externes, le marché ne contient pas de mécanisme spontané pour corriger les externalités définies comme « l'interdépendance entre les fonctions caractéristiques des agents économiques qui crée des avantages ou des inconvénients qui ne font pas l'objet de choix de part et d'autre » (Boisson J. M., 2004). L'Etat doit donc intervenir pour les internaliser.

En ce qui concerne la lutte contre l'érosion, l'économie publique et l'intervention de l'Etat paraît inadaptable pour résoudre ce type de problème. Cependant Bernard ELYAKIME dans son article publié dans la revue « Région et développement » a simulé la coulée de terre dont l'origine érosive est complexe à un bien public indésirable, et que le résultat de la mise en œuvre d'une action antiérosive correspond donc à un bien public désirable dont la quantité globale de terre retenue du fait de l'action anti-érosive s'impose à tous. Nous sommes dès lors dans une problématique d'économie publique pour la production d'un bien public par un ou plusieurs producteurs privés regroupés, en situation de non concurrence et en interrelation dans un acte de production qui leur est propre.

D'un autre côté l'érosion est considérée dans une grande portée de la littérature théorique et des travaux empiriques comme étant une externalité négative d'un ou plusieurs agriculteurs du fait des dégâts sur et

hors site agricole. Ceci a nécessité l'intervention des pouvoirs publics par l'application d'un système d'aides directes et éco-conditionnelles aux agriculteurs pour leurs terres afin de pouvoir internaliser cet effet externe à l'activité agricole.

II – L'économie des ressources naturelles

1- Place des ressources naturelles dans la pensée économique

Les ressources naturelles ont occupé une place assez importante dans la réflexion économique datant de plusieurs siècles. En effet les préoccupations des économistes envers les ressources naturelles ont connu une évolution depuis les physiocrates jusqu'aux néoclassiques.

L'idée des physiocrates était la considération des ressources naturelles comme les seules sources de richesses et que l'homme se trouve dans l'obligation de les préserver et de les entretenir afin de garantir la pérennité des activités économiques.

Avec le développement de l'école classique qui a suivi les physiocrates, un nouveau courant théorique est né notamment avec Adam Smith et Ricardo. Ce courant de pensée a engendré une réduction de l'importance relative de l'agriculture dans le système économique. En effet, le développement du marché et des valeurs d'échange introduit une distinction essentielle entre les ressources naturelles selon leurs valeurs d'échange et on trouve : les ressources naturelles marchandes (la terre, limitée en quantité et en qualité, et matières premières extraites de l'environnement faisant l'objet d'appropriation) et les ressources délivrées gratuitement par la nature, donc non marchandes, appelées « ressources libres » n'entrant pas dans le champ d'analyse économique parce qu'elles sont supposées en quantité illimitée.

L'analyse marxiste suggère que le système capitaliste n'est pas soutenable et que la destruction de l'environnement est une source de cette non durabilité (Pearce, D., Turner, R.K). Marx ne trace donc pas de frontières entre l'économie et la nature et l'ensemble des ressources naturelles lui paraît un objet de l'analyse économique.

A partir des années 1870, avec le développement de l'école néoclassique, les ressources naturelles vont progressivement disparaître de la réflexion économique, alors que les classiques privilégiaient l'étude de la production et de la répartition des richesses, les néoclassiques s'attachent essentiellement à l'étude de l'allocation optimale des ressources rares entre usages alternatifs (Vallée A. 2002).

Bien que certains fondateurs de cette école fassent encore le lien entre l'environnement naturel et les activités économiques tel que S. Jevons 1865 (épuisement du charbon) et C. Menger en 1871 (rôle de matières premières dans la production), la production est analysée comme une combinaison de facteurs substituables : le capital, le travail et la terre ; mais celle-ci est limitée au sol et va jouer un rôle de plus en plus négligeable.

Cette évolution s'explique par deux raisons :

- ✓ La considération que la majorité des ressources naturelles sont des biens libres donc des biens non marchands et l'économie rejette l'analyse des phénomènes hors marché. Même si la terre est un facteur productif c'est grâce au capital et au travail, combinés qui l'amènent à cette fin.
- ✓ Concentration de la réflexion des néoclassiques sur le fonctionnement du marché et les conditions de son équilibre.

2- Contrôler l'érosion passe par une gestion optimale de la ressource sol

L'ignorance des néoclassiques pour la question des ressources naturelles a persisté jusqu'aux années soixante-dix où la théorie économique redécouvre en quelque sorte les ressources naturelles grâce au rapport de club de Rome (1972) émettant des prévisions très alarmistes sur la disponibilité des ressources

notamment énergétiques. Ce n'est qu'à partir de cette date que les économistes néoclassiques vont porter leur attention aux ressources renouvelables et non renouvelables en les traitant comme des actifs naturels ce qui implique des choix d'allocation d'usage pour assurer la disponibilité future de la ressource. La gestion de ces ressources s'appuie sur les principes mis en évidence dès 1931 par Hotelling pour les ressources non renouvelables (Faucheux, Noel).

Pour les économistes des ressources naturelles, l'érosion constitue une des formes de dégradation des sols. Ce phénomène courant dans les sols est le résultat de plusieurs facteurs. Des facteurs d'ordre naturel comme la pluviométrie (quantité et intensité), la vitesse du vent, la pente, le ruissellement, le type et la structure des sols sont à l'origine de l'aggravation de l'érosion. D'autres facteurs d'ordre socio économique participent directement ou indirectement au développement du problème, en effet, les pratiques culturelles, les techniques de production et les politiques économiques pratiquées en agriculture concourent à la création du phénomène érosifs et donc il ne faut pas négliger leurs effets.

Le souci de lutter contre l'érosion en économie des ressources naturelles consiste donc à préserver une ressource naturelle rare qui est le sol, mais les nouvelles préoccupations environnementales peuvent étendre ce souci à la préservation d'autres « ressources naturelles » telle que les rivières, les lacs naturels, les fleuves et la mer qui sont affectés par les matériaux provenant de l'érosion. De même la préservation de la qualité de l'eau dans la mesure où, quand le sol le filtre naturel se transforme à cause du changement de sa structure et sa saturation en produits toxiques provenant de la fertilisation en agriculture, il devient une source de pollution pour les eaux souterraines.

L'application de cette théorie pour la gestion de la ressource sol à été développée par 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 (Deybe, 1994, p.33-56).

III- L'économie standard de l'environnement

A partir des années 1970 et parallèlement à l'économie des ressources naturelles que l'économie de l'environnement apparaisse et se développe pour constituer une branche majeure de la science économique. Elle s'attache essentiellement au problème des rejets engendrés par les activités économiques (Vallée, 2002).

L'idée centrale des partisans de l'économie de l'environnement consiste à considérer que les problèmes d'environnement, assimilés à des gaspillages des ressources naturelles, proviennent d'une insuffisante définition des responsabilités des acteurs économiques. Les nuisances et les dégradations de l'environnement sont 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).

Les économistes néoclassiques formalisent les problèmes environnementaux via la notion d'externalité. Une externalité ou effet externe est classiquement définie comme une interdépendance involontaire entre les fonctions caractéristiques des agents, créant des avantages ou des inconvénients qui ne font pas l'objet de choix, étant rattaché à une activité principale qualifiée « d'émettrice » qui génère mais qui reste distincte (Boisson, 1970 ; Laffont, 1991 cité par Carpy-Goulard, 2001)

Les effets externes échappent au marché, en leur présence, le bien être d'un consommateur ou les conditions de rentabilité d'une firme sont affectés directement par les actions d'un autre agent économique sans que les pertes ou les gains de bien-être en résultant soient compensés (Vallée, 2002).

Les externalités ont donné lieu à toute une littérature établissant des distinctions subtiles entre différentes notions. Plusieurs types d'effets externes peuvent être illustré dans le domaine de l'environnement a savoir les externalités pécuniaires et non pécuniaire (Buchanan, 1969, Meade, 1973), les externalités

«Pareto relevant» et « Pareto irrelevant» (J. M. Buchanan, W. Stubblebine, 1962), les externalités bilatérales et multilatérales et les externalités statiques et dynamiques, diffuses ou non (Pearce, 1976)

Parmi les effets externes 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. De nombreux moyens d'internalisation allant de la négociation directe à la mise en place de marchés des externalités, en passant par la fiscalité « pigouvienne », sont ainsi proposés (Faucheux et al, 1995).

Partant de ce principe l'économie de l'environnement s'est déployée principalement dans quatre directions (Barde, 1991) :

- ✓ L'élaboration de techniques de valorisation en terme monétaires des phénomènes d'environnement.
- ✓ La conception et la mise en place d'instruments des politiques de l'environnement.
- ✓ Les recherches sur la dimension internationale des phénomènes et politiques de l'environnement (problèmes d'allocation des coûts à l'échelle internationale : cas de pollutions transfrontalières)
- ✓ La réflexion sur la mise en œuvre d'un processus de « développement durable » pour la protection des ressources de la planète et la difficile conciliation de l'aide au développement et de la protection de l'environnement.

Pour ces économistes, l'érosion constitue une externalité négative liée à la production agricole et peut faire l'objet d'une analyse économique. En produisant des biens agricoles, l'agriculteur affecte involontairement l'utilité des autres agents (actuels ou futurs) par le phénomène de l'érosion du sol, et conduit à une augmentation du coût social. En effet, l'utilisation des différentes techniques culturales et l'adoption des techniques d'exploitations modernes pour augmenter la production mène à la surexploitation des terres, qui en absence des apports organique et humique provoque une dégradation de la stabilité structurale des sols et par conséquent leur érosion.

IV – L'économie écologique

Ce courant de pensée s'est surtout développé dans les pays anglo-saxons et scandinaves, où certains auteurs convaincus du manque d'interdisciplinarité de l'économie néoclassique et l'écoénergétique et des impasses où mènent leurs démarches pour confronter théoriquement l'économie et l'écologie, ont appelé à un rapprochement multidisciplinaire entre les sciences du vivant et les sciences sociales. Parmi ces économistes on cite Kenneth Boulding[1950], Nicholas Georgescu-Roegen [1966], Herman Daly [1968] et René Passet [1971].

A partir des années quatre vingt cette idée a connu une reconnaissance institutionnelle suite à la création de l'International Association for Ecological Economics. Elle repose sur 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 illimité des ressources naturelles ou des aménités environnementales par des ressources humaines ou du capital accumulé (Costanza, 1991 cité par Louhichi 2001).

Les principaux thèmes fédérateurs de l'économie écologique décrits par Vivien (1994) sont le refus de tout système qui considère l'ensemble des choses réductibles à l'unité c'est-à-dire contre tout « monisme », et la volonté de refondation. En effet, Herman Daly a présenté lors du colloque tenu à Stockholm en 1982 que l'économie écologique rappelait dans un premier temps les limites propres à la théorie économique néoclassique et les limites de l'écoénergétique :

La théorie économique néoclassique ne prend en compte l'environnement qu'à travers du concept d'effet externe dont l'existence témoigne de ce que l'environnement est un élément perturbateur de la logique marchande. La théorie néoclassique effectue donc un renversement de la problématique environnementale et son but n'étant pas d'appréhender théoriquement la dimension écologique des phénomènes économiques, mais de réduire l'environnement à une dimension marchande. Le marchand est en quelque

sorte l'horizon borné de la théorie économique néoclassique dans son diagnostic comme dans ces solutions. Cela la conduit à penser l'existence d'externalité 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.

En outre, Bertrand de Jouvenel [1970] a souligné que ce n'est pas les problèmes écologiques qui intéressent la théorie néoclassique mais les nuisances qui affectent les fonctions objectives des agents, les pollutions ayant un coût monétaire qui sont prises en compte dans la procédure d'internalisation des externalités.

David Pearce (1976) a signalé que l'économiste intervient trop tard car quand la pollution commence à affecter la fonction objective des agents, certains seuils écologiques irréversibles sont déjà franchis et donc le niveau optimal de pollution qu'il faut définir excède au final les réelles capacités d'assimilation du milieu naturel.

En résumé beaucoup de critiques ont été formulées pour montrer les limites de la théorie néoclassique pour prendre en considération la protection de l'environnement, ajouté à ceux signalé ci-dessus, d'autres portant sur les obstacles théoriques et pratiques aux évaluations économiques dû au embarras de la théorie à l'égard de la question des rapport entre le marchand et le non marchand, la complémentarité entre le « capital naturel » et le « capital créé par l'homme » et la prise en compte de l'environnement dans le système de comptabilité nationale.

L'écoénergétique qui consiste en une modélisation énergétique d'un écosystème représente une approche réductrice de l'écologie. En effet la mesure énergétique appréhende très mal la dimension évolutive du vivant puisqu'elle repose sur des hypothèses de stabilité des écosystèmes dans le temps. Elle constitue aussi une approche réductrice de l'économie et du social dans la mesure où l'établissement d'un bilan énergétique a permis de mettre en évidence d'importants phénomènes « contre productifs » inhérent notamment à la localisation des activités et au coût des transports

Face aux limites des deux théories citées implicitement ci dessus l'économie écologique présente une volonté de refondation (Vivien, 1994). Selon Herman, Daly et Robert Costanza [1987] cité par Vivien [1994] elle se présente comme un nouveau champ interdisciplinaire étudiant les interrelations entre systèmes socioéconomiques et écosystème. Prenant acte de l'irréductibilité de l'économie et de l'écologie, cette nouvelle approche cherche à développer leur complémentarité.

Selon les partisans d'une « économie écologique » l'écologie doit fournir les bases d'une nouvelle description analytique du processus économique dont on cite trois aspects retenus par Frank Dominique Vivien [1994].

- ✓ Un point de vue holiste : la relation d'inclusion « internaliser » la logique écologique dans la logique économique doit être inversée : les systèmes socioéconomiques sont des sous systèmes écologiques dans lesquels ils doivent ménager leur insertion.
- ✓ Une dynamique coévolutive : les systèmes socio-économiques et les systèmes naturels sont en perpétuelle évolution. Le processus économique modifie le milieu naturel et en retour ce dernier modifie le premier et c'est dans cette perspective coévolutive qui met l'accent sur le long terme, que les tenants de l'économie écologique se sont donnés pour tâche l'étude de la définition et des conditions d'un développement durable.
- ✓ L'étude du métabolisme industriel : les systèmes socioéconomiques sont comme les écosystèmes se maintiennent et se développent dans le temps grâce à un apport constant de matière et d'énergie. Certains auteurs ont montré la loi de la conservation de la matière dans le processus économique et dans les phénomènes de pollution et c'est à cause de celle-ci que l'existence d'externalités ne peut être conçue comme une anomalie, mais au contraire comme un phénomène normal, inhérent à la production et à la consommation, qui prend de l'ampleur à mesure que le système économique se développe.

En économie écologique l'environnement est abordé différemment, elle dénonce un mode de croissance destructeur de l'environnement et suppose que l'environnement a des propriétés bien déterminées qui caractérisent la nature et les niveaux des activités économiques. L'idée est d'aborder les problèmes environnementaux à plusieurs dimensions en basant la politique économique sur une combinaison de plusieurs instruments afin de construire une stratégie globale de développement durable.

Pour ces économistes, la valorisation des phénomènes d'environnement à savoir l'érosion ne doit pas être basée sur des critères purement monétaires mais appréhendées d'abord comme des réalités physiques, mesurées comme telles, suivi par l'application de l'analyse coût efficacité.

L'Economie écologique, même si elle suscite beaucoup d'intérêt à l'intérieur comme à l'extérieur de l'économie⁴ et même si elle rassemble une communauté scientifique bien identifiée, elle n'est pas encore parvenue au stade de fournir des instruments d'analyse éprouvés et compléments normalisés. C'est pourquoi on ne peut pas prétendre, pour le moment tout au moins, développer une recherche complètement adossée à ce paradigme (Louhichi et al, 2006).

L'analyse de la relation agriculture environnement dans le cas de l'érosion nécessite une approche pluridisciplinaire qui met en relation le système économique et le système écologique. Ceci nous oriente plutôt vers un positionnement dans le domaine de l'économie écologique. Cependant l'absence d'approches méthodologiques propres à cette discipline complique davantage la problématique et nous envoie vers l'adoption des instruments de l'économie de l'environnement. Ceci n'empêche pas de rester dans le courant d'économie écologique puisqu'on ne dépassera pas la frontière de l'évaluation physique de l'externalité.

B. Analyse et valorisation de la relation production - érosion

I- L'érosion est une externalité jointe à la production agricole

En considérant l'érosion induite par les facteurs naturels comme exogène et en se basant qu'à celle induite par les facteurs socioéconomiques, l'érosion des sols est considérée par les économistes de l'environnement comme une externalité négative liée à la production agricole et peut faire l'objet d'une analyse économique.

L'érosion liée à la production des biens agricoles est assimilée à une externalité technologique, diffuse et multilatérale. Technologique dans la mesure où elle affecte directement les fonctions de production ou de satisfaction, diffuse et multilatérale puisque les récepteurs et les émetteurs sont non identifiables (la part de chaque émetteur est inconnu et les dégâts en aval concernent généralement plusieurs agents économiques).

Il s'agit d'une interdépendance technique dans le processus de production, dans la mesure où le niveau du rendement agricole ne dépend pas seulement des intrants et des techniques attribués à la production du bien agricole, mais aussi de la quantité des autres outputs (érosion, pollution,...). On parle alors d'une production jointe à une production principale où plusieurs biens peuvent apparaître simultanément de sorte qu'un accroissement ou une diminution de l'offre d'un produit affecte le niveau de l'autre(OCDE, 2001).

Le schéma suivant illustre cette notion de production jointe :

⁴ Comme en témoigne la bonne notoriété internationale de la revue « *Ecological Economics* ».

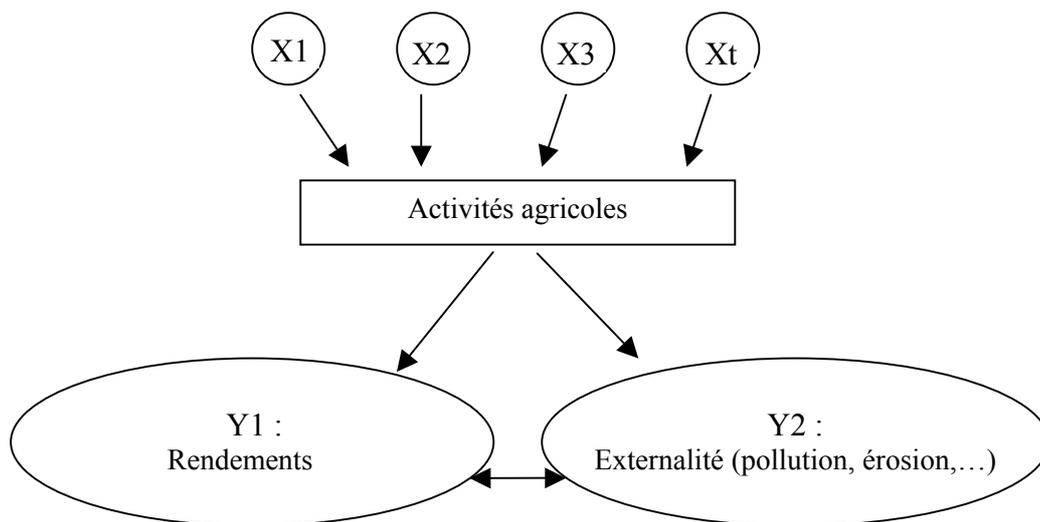


Schéma 1 : L'érosion, externalité jointe au produit

La notion de production jointe peut avoir deux autres raisons que l'interdépendance technique à savoir les jointures en inputs non allouables et les jointures en inputs allouables.

L'analyse du phénomène érosif revient alors à analyser l'ensemble des relations du système de production et non seulement les relations dose effet (Erosion du sol - perte en rendement). Cette analyse présente cependant l'inconvénient de la non convexité de l'ensemble tel que le cas des ensembles de production illustrant des techniques utilisées plus ou moins polluantes (Jacquet, Flichman, 2003). L'utilisation du labour minimal de surface avec fertilisation conduit à une augmentation de la production et favorise un développement végétatif et racinaire de la plante qui réduit l'érosion. Il est donc nécessaire de conserver les aspects techniques afin de pouvoir mieux estimer la fonction de l'érosion.

L'érosion des sols engendre des pertes à deux niveaux. Au niveau de la parcelle de l'émetteur, il y a une augmentation du coût marginal qui n'est pas comptabilisé. En dehors du site érodé, le dépôt des particules en aval, pollution des eaux,... provoquent généralement des effets négatifs (peut-être aussi positifs) sur les récepteurs, augmentant ainsi le coût marginal social.

La différence entre le coût social et privé correspond à la valeur de l'externalité que l'économie de l'environnement cherche à internaliser à travers les méthodes réglementaires et/ou économiques (Louhichi, 2001).

II- Valorisation des externalités

1- Les approches orthodoxes : une valorisation monétaire suivie par l'application de l'analyse coût avantage

A- Pourquoi une évaluation monétaire ?

Le terme évaluation peut avoir plusieurs interprétations. Pour l'économie de l'environnement, l'évaluation d'une externalité correspond à une évaluation monétaire. L'affectation d'une valeur monétaire aux dommages de l'environnement est une démarche cruciale pour internaliser les effets externes dans la sphère économiques. Jean Philippe Barde [1991] a cité deux séries de raisons principales à une telle « valorisation » ou « monétarisation » de l'environnement. La première se rapporte au principe général de la rationalité économique : l'économie a pour objet de gérer les ressources rares avec un maximum d'efficacité afin d'en obtenir un maximum de bien-être qui correspond à la situation d'optimum. La deuxième justification de l'évaluation monétaire des dommages réside en ce que non seulement il faut pouvoir comparer en une unité monétaire commune les coûts et les avantages, mais

comparer également l'ensemble des avantages ou dommages. En effet, la détérioration de l'environnement comporte de multiples facettes, de sorte qu'une forme donnée de soufre (SOx) et les oxydes d'azote (NOx), entraîne une série complexe de dommages hétérogènes : effet sur la santé, sur les matériaux, détérioration de la flore et de la faune etc. Chacun de ces dommages comporte elle-même des composants multiples rendant leurs mesures et leurs agrégations dans une unité commune difficile, d'où la monnaie constitue un instrument commode, même s'il n'est pas idéal, permettant de traduire en termes économiques cette multiplicité d'éléments hétérogènes (Barde, 1991).

L'évaluation monétaire des dommages ou bénéfices constitue donc une composante essentielle de l'économie de l'environnement, elle permet la détermination d'un optimum, c'est-à-dire d'un maximum de bien-être collectif. En absence de telles évaluations, la référence à l'efficacité économique et à l'optimum demeure un idéal théorique. L'évaluation économique des externalités représente une condition essentielle de rationalité et de transparence pour la prise de décision : quelle justification économique donner au choix d'un projet, à la fixation d'un objectif de dépollution ou à toute autre mesure, en absence de l'évaluation des bénéfices ? (Barde, 1991).

A titre d'exemple, la figure 1 schématise les courbes de dommage et de dépollution exprimées en termes monétaires. Sur la partie supérieure de la figure, la courbe D représente le coût total des dommages causés par la pollution. La courbe C représente le coût total de la lutte contre la pollution et la courbe T correspond à la courbe de coût total de la pollution (C+D). Pour minimiser ce coût, il faut que la situation économiquement satisfaisante soit au point P0. La partie inférieure présentée par les courbes des coûts marginaux des dommages et de lutte contre la pollution, on remarque que l'optimum se situe au point d'égalisation des coûts marginaux qui correspond au minimum du coût total de la pollution P0. La détermination de cet optimum exige la connaissance de C et D. Or, les coûts d'antipollution et d'une façon générale de lutte contre l'externalité négative peuvent être aisément calculés, les coûts de dommages, ne le sont pas. Par conséquent, l'absence d'une évaluation monétaire des dommages ampute le calcul économique (Barde. 1991, Pearce et Turner. 1990).

A ce niveau, on se demande comment peut-on procéder à l'évaluation monétaire des dommages et ressources environnementaux ? En économie de l'environnement, la valeur économique total d'un bien environnemental dépend au moins pour partie, de la demande pour ce bien, c'est-à-dire du consentement à payer qui lui-même détermine le surplus du consommateur retenu comme mesure économique des valeurs environnementales (Barde,1991).

Or la demande est exprimée sur un marché alors que les phénomènes environnementaux sont externes. Il a fallu donc trouver des procédés de révélations et d'évaluation des préférences des individus, de leur consentement à payer pour des mesures de protection de l'environnement. Ces méthodes sont classées en trois catégories :

- La première catégorie consiste à évaluer le consentement à payer par référence à des marchés existants considérés comme « marchés de substitution » c'est-à-dire se substituant à un marché de l'environnement qui n'existe pas en tant que tel. On citera trois méthodes : l'évaluation des dépenses de protection, les prix hédonistes (étude du marché immobilier) et l'évaluation des dépenses de déplacements.

- La deuxième catégorie de méthode, en créant un marché artificiel ou quasi marché, a pour objectif de réaliser une évaluation directe des fonctions de demande : il s'agit de déterminer le consentement à payer au moyen d'enquêtes et de questionnaires pour une augmentation ou une diminution de l'offre d'un bien non marchand (en l'occurrence la qualité de l'environnement).

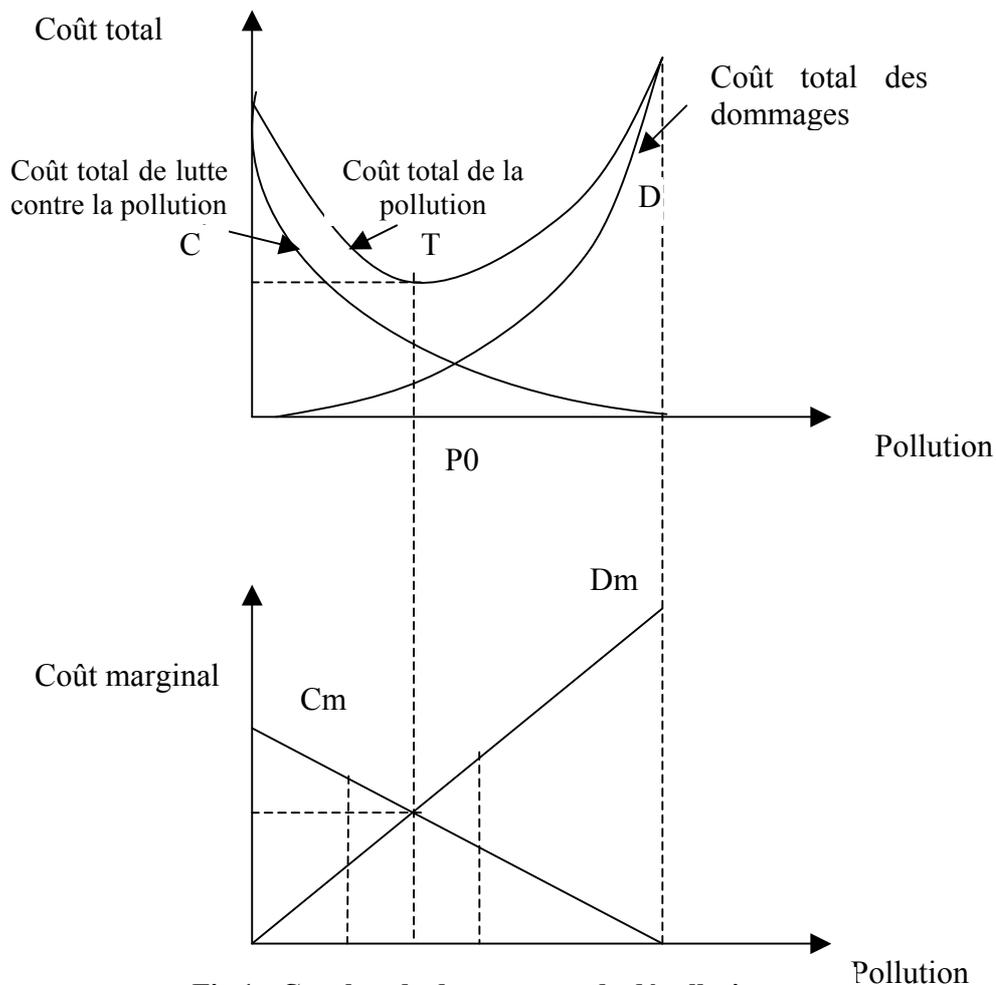


Fig.1 : Courbes de dommage et de dépollution

Source : Barde, J. P. 1991

- La troisième catégorie s'efforce d'affecter une valeur monétaire à des dommages préalablement évalués en termes non monétaires (physique). Cette méthode consiste à procéder d'abord à une mesure physique des dommages puis à une évaluation monétaire. Cette méthode a l'avantage d'une meilleure « objectivité » dans la mesure où elle repose sur une évaluation scientifique et statistique des relations dose-effet, par exemple la dose est l'érosion du sol et l'effet est la perte en rendement. Cela permet notamment d'évaluer des dommages qui ne sont pas nécessairement perçus par les individus (pollution de l'air, érosion).

B- Exemple : évaluation monétaire de l'érosion basée sur le rapport rendement- érosion

Tandis que les effets négatifs de l'érosion sur la productivité sont bien documentés, c'est leur grandeur qui est d'intérêt d'un point de vue économique, En effet plusieurs tentatives ont été faites pour mesurer le rapport rendement-érosion. Parmi celles-ci, on cite celles de Lal (1987,1981) qui a entrepris des recherches sur la relation entre l'érosion et le rendement en Afrique sub-saharienne au Nigeria pendant les années 1970, il a alors estimé une équation de régression avec une forme exponentielle reliant l'érosion cumulative au rendement

$$Y = A e^{-\beta x}$$

Avec **Y** est rendement en tonnes/ha, **A** est une constante (rapportée sur la terre non érodée), **e** est la notation normale, **x** est la perte cumulative de sol (t/ha) et le **β** est une constante qui change selon la récolte et la pente.

D'autres chercheurs examinant les effets économiques de l'érosion de sol ont adopté l'équation dérivée par Lal tels que Bishop et Allen [1989]. Ces derniers ont utilisé cette dernière méthode pour déterminer les coûts d'érosion de sols au Mali. En effet, dans un premier temps ils se sont basés sur le modèle empirique de perte en terre de Wischmeier et Smith (USLE : Universal Soil Loss Equation) pour calculer la moyenne de l'érosion par l'eau. Ensuite, ils ont relié les pertes du sol au rendement des cultures en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Rendement} = C^{-bx}$$

Où C est le rendement sur une terre non érodée, b est un coefficient qui varie en fonction de la récolte et la pente et X cumul des pertes en sol.

Enfin pour estimer la valeur des pertes en rendement dues à l'érosion, ils ont multiplié ces pertes par le prix du marché (Pearce, 2002).

Il devrait noter cependant que plusieurs avertissements s'appliquent et que l'utilisation de ces méthodes basées sur des fonctions de production économiques traditionnelles, dont les éléments sont des données statistiques, se heurtent à plusieurs problèmes de type agronomique et économique. En fait, le calcul de la valeur monétaire perdue à cause de l'érosion basé sur la multiplication du rendement perdu par le prix de marché n'est pas aussi simple que nous montre l'équation utilisée par Bishop et Allen [1989] car la variation du rendement au niveau de l'exploitation est beaucoup plus compliquée. Par exemple, la baisse du rendement va réduire les coûts du sarclage et de la moisson. (Pearce, 2002)

Parmi les problèmes relatifs à l'établissement des fonctions de production, on cite :

- La spécificité du site : type caractéristiques du sol, climat, pentes, rendements des cultures etc., qui, d'après Lal [1987], rend difficile l'application de son équation à d'autres endroits sans beaucoup de justification empirique.
- Le nombre d'observations et d'essais expérimentaux est restreint et réducteur pour estimer les paramètres de la fonction.
- Le rapport rendement-érosion établie par la fonction ne reflète pas une limite supérieure à la perte cumulative de sol et on ne peut pas savoir ce qui arrive aux rendements au delà de la période d'expérimentation (Lal 1987 cité par Eaton, 1996). Ceci suppose une dégradation continue du rendement qui tend vers la valeur « 0 », ce qui paraît improbable.
- Le rapport de rendement-érosion peut ne pas montrer des pertes marginales décroissantes sur sa gamme entière, il peut y avoir un ou plusieurs points d'inflexion (Lal, 1981, 1987). Ceci touche une hypothèse très importante dans l'analyse théorique de l'économie de l'environnement et qui est la convexité de l'externalité.

C- Limite de la valorisation monétaire

L'évaluation monétaire selon l'économie de l'environnement repose sur l'hypothèse de la convexité et de la monotonie des fonctions d'externalité et/ou de dommage, c'est-à-dire que le coût de l'externalité est supposé augmenter avec la croissance de la production.

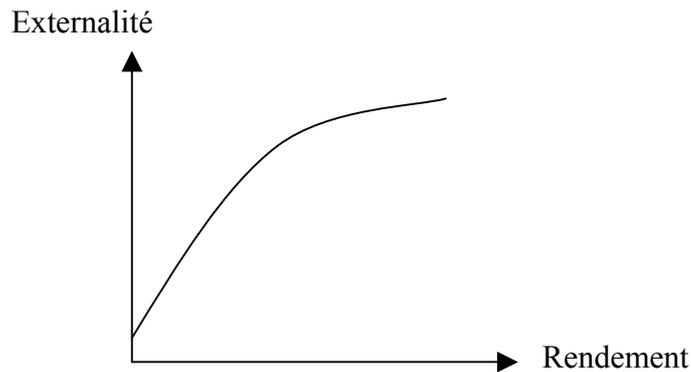


Fig.2 : Fonction d'externalité, rendement sous l'hypothèse : monotone, convexe.

Or plusieurs travaux ont montré que ce phénomène n'est pas toujours vérifié surtout quand il s'agit d'une externalité liée à l'activité agricole. Parmi ces travaux, on cite ceux de Boisson [1970], Baumol et Balford [1972], Mas-collé et al [1995] cités par Louhichi, Flichman et Boisson [2006], aussi Abbas [2005], Flichman et Jacquet [2003], Louhichi [2001], Carpy –Goulard [2001]. Les résultats de leurs travaux rappellent le phénomène de « *reswitching* » de techniques démontré par les économistes de Cambridge Straffa [1960] et Robinson [1969].

Parmi ces auteurs, ceux qui ont analysé les externalités d'origine agricole ont utilisé l'approche bioéconomique basée sur les fonctions de production d'ingénieur. Ils ont trouvé que l'utilisation d'une technique intensive pour augmenter le rendement peut s'accompagner d'un changement brutale de la quantité physique de l'externalité. En d'autres termes, la fonction d'externalité peut être représentée par une fonction non convexe et parfois non monotone (Louhichi, Flichman et Boisson 2006). Comme exemple, on cite l'exemple appliqué sur l'érosion du sol en Tunisie présenté par (Louhichi et al 2006).

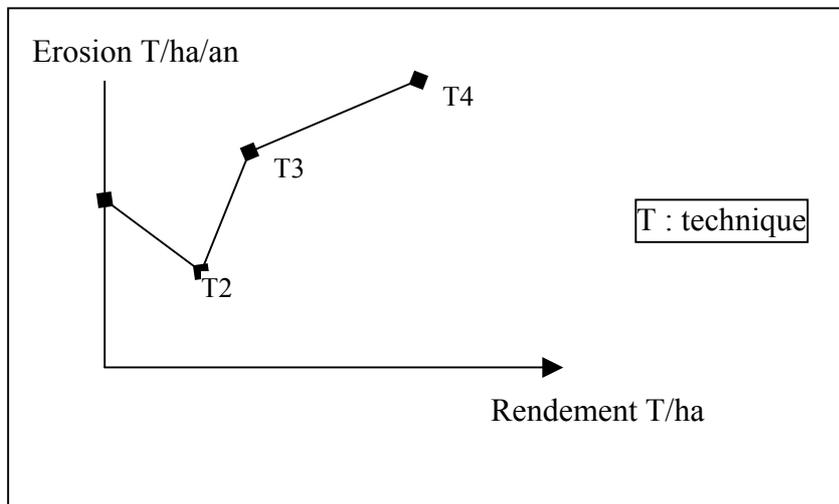


Fig. 3 : Relation érosion – rendement sous différentes techniques
Source : Louhichi, K., Flichman, G., Boisson J.M. 2006

On note aussi que les prix relatifs entre inputs et/ou produits changent considérablement (Flichman, 1997), ceci peut fausser les résultats tirés d'une fonction de production telle celle de Bishop et Allen [1989] du fait qu'une même quantité de sol érodée peut avoir plusieurs valeurs monétaires.

D- Application de l'analyse coût-avantage

La valorisation monétaire des phénomènes d'environnement est suivie généralement par l'application des éléments fondamentaux de l'analyse coût- avantage, c'est-à-dire les instruments de l'analyse néoclassique appliqués au non-marchand. Elle consiste à prendre en compte l'ensemble des coûts et des avantages induits, exprimés en termes monétaires associés à un bien donné. Son principe est simple. Il consiste à réaliser toutes les décisions dont les bénéfices sont supérieurs aux coûts (Treich, 2005). Dans la partie bénéfiques, on peut inclure les conséquences d'une baisse de la pollution, d'une baisse de l'incidence d'une maladie, ou d'une meilleure sécurité d'une usine. Dans la partie coûts, on peut inclure les coûts de dépollution, de changement de technologie, les coûts d'investissement dans la sécurité, et de recherche d'un substitut à un produit reconnu toxique.

La théorie enseigne que dans une économie prenant en compte l'environnement, la maximisation du bien-être impose de comparer les coûts associés aux pollutions et les coûts des politiques visant à leur réduction. L'Analyse Coûts-Avantages (ACA) permet alors de définir un « optimum de pollution », là où le coût marginal de la réduction est égal au coût marginal du dommage (Criqui, 2005).

D'une façon générale, l'analyse coûts avantages permet de traiter de manière cohérente, en leur donnant le même poids, l'ensemble des conséquences possibles pour l'environnement des politiques, réglementations et projets dans divers secteurs économiques.

2- Les approches hétérodoxes : une évaluation physique suivie par une application de l'analyse coût efficacité

A- Pourquoi une évaluation physique ?

Contrairement aux économistes de l'environnement partisans de la valorisation monétaire et de l'application de l'analyse coût avantage, les tenants des approches hétérodoxes proposent une valorisation physique avec une application de l'analyse coût-efficacité qui repose sur l'optimisation économique sous contraintes environnementales exprimées en grandeur physique. La gestion exclusivement monétaire des ressources naturelles laisse la 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.

Les externalités négatives ne font qu'augmenter, réduisant par leurs effets le niveau minimal de l'équité intergénérationnelle. Leur internalisation au processus de production en essayant de perfectionner et d'étendre le marché dans le sens de trouver une solution marchande aux externalités, ne fait que compliquer les choses. En effet, plus l'environnement sera dégradé, plus il faudra développer des marchés de dépollution, plus les dépenses de protection devront être importantes, plus l'équité intergénérationnelle est réduite et la notion du développement durable disparaît.

L'évaluation physique permet de tenir compte de la capacité et du rythme de reproduction des ressources renouvelables et du risque d'épuisement des ressources épuisables. Elle est utilisée par les chercheurs dans le but de trouver un seuil au dessus duquel aucun dommage ne semble se produire. L'évaluation physique de l'externalité permet de fixer des objectifs environnementaux ou bien des limites supérieures qu'il ne faut pas dépasser pour assurer une durabilité des écosystèmes et de l'environnement.

Cette évaluation utilisée dans l'approche d'analyse coût efficacité renseigne sur l'efficacité environnementale des politiques moyennant la comparaison d'une grandeur monétaire (dépenses de mise en place d'une politique) et une grandeur « physique » (valeur objective de l'externalité).

B- Application de l'analyse coût efficacité

Quand l'évaluation des bénéfices et le choix d'une décision efficace sont difficiles à réaliser, l'objectif d'une politique se base sur d'autres critères. Par exemple dans le cas de la pollution, le seuil de pollution accepté est déterminé à partir d'études effectuées sur l'influence de certains polluants sur la santé humaine. Les écologistes peuvent aussi aider à définir le nombre critique de certaines espèces qui doivent être préservés. Une fois l'objectif est fixé, l'analyse économique peut prévoir les coûts des moyens à choisir pour réaliser cet objectif. Cependant la détermination du moyen le moins coûteux est parfois très compliqué. L'analyse coût efficacité (ACE) est alors une « procédure d'optimisation » (Tietenberg, 1998) représentant une méthode simple et systématique pour trouver la solution la moins chère pour accomplir l'objectif. Cette procédure ne donne généralement pas une allocation efficace car l'objectif prédéterminé peut ne pas être efficace mais elle peut renseigner sur le niveau de changement des coûts si une politique non ou peu efficace est mise en place.

D'après Mason (2004), l'analyse coût-efficacité est jugée plus simple que l'analyse coût-avantage sur le plan conceptuel et opérationnel. De plus, elle est mieux adaptée à l'évaluation et à la mesure du rendement des programmes publics. En plus de sa plus grande simplicité, l'ACE a un avantage par rapport à l'ACA. En effet, l'ACE permet d'éviter la conversion en unités monétaires des indices d'efficacité. Cependant, cet avantage de l'ACE par rapport à l'ACA est aussi son principal inconvénient. En effet, l'ACE ne renseigne pas sur la façon dont l'objectif a été fixé, comme l'indique l'ACA.

L'ACE peut être vue comme une forme particulière d'Analyse coût avantage ; en effet, lorsque l'on demande une étude des coûts-avantages, c'est souvent une analyse de coût-efficacité qui est souhaitée.

D'une manière générale, une ACE détermine la politique qui conduit à un objectif spécifique tout en induisant une perte minimale en termes de bien être social. Aussi, une ACE peut chercher à maximiser un objectif de prévention, par exemple un nombre de vies sauvées, pour un budget donné.

Chapitre 2. Estimation et internalisation des externalités : application à l'érosion

La première étape pour analyser la relation agriculture environnement et internaliser les externalités dans le calcul économique consiste à estimer les fonctions de production et d'externalité. Ces fonctions correspondent à une relation mathématique établie entre les quantités produites et le ou les facteurs de production utilisés, ou encore entre l'output et l'input.

La fonction d'externalité (dans notre cas la fonction d'érosion) correspond à une relation établie entre les facteurs et pratiques culturales utilisés dans la production agricole (travail du sol, irrigation, fertilisation, ...) et l'externalité jointe au produit principal. On peut schématiser ces fonctions de la façon suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Production (Rdt)} &= f(X_i) \text{ avec } X_i : \text{ quantité d'input } i, i = \{1, 2, \dots, n\} \\ \text{Externalité} &= f^*(X_i) \text{ avec } X_i : \text{ quantité d'input} \end{aligned}$$

I- Estimation de la fonction d'érosion

Le présent travail porte sur l'analyse de la relation entre activité économique et érosion du sol ainsi que sur l'étude de l'impact de certaines mesures de contrôle de ce phénomène. Cette tâche nécessite la recherche dans la théorie économique d'une méthode capable d'estimer les fonctions de l'érosion, d'évaluer l'efficacité environnementale de ces mesures et d'estimer leurs impacts économiques au niveau de l'exploitation, la région, le bassin versant, ...etc. »

Dans la perspective traditionnelle des instruments de l'économie de l'environnement, l'analyse des rapports entre les décisions de production (choix des rotations, des techniques de production, etc.) et certains problèmes concernant l'environnement et les ressources naturelles (érosion de sols, pollution par les nitrates, salinité, etc.), consistait à estimer les fonctions de production et d'externalités (ou de dommage) résultant des processus de production et des modifications des pratiques culturales. Cette estimation fera appel soit à des méthodes habituelles de la science économique qui reposent généralement sur l'échantillonnage pour déterminer les paramètres d'une fonction dont la forme est définie à l'avance soit à des méthodes reposant sur le savoir des agronomes pour construire des fonctions de production "d'ingénieur". La principale différence entre les deux méthodes est que la seconde permet d'apporter des résultats en terme physique évitant de ce fait la monétarisation des externalités, toujours délicate ainsi que l'extrême latitude de substitution entre capital naturel et capital manufacturée propres aux fonctions de production habituelles.

Sans montrer la supériorité d'une méthode par rapport à une autre, la section suivante retrace rapidement les principales différences entre ces deux méthodes afin de justifier le choix de la méthode employée pour estimer les fonctions de l'érosion.

1- Méthodes basées sur les fonctions de production traditionnelles

Ces méthodes consistent à établir des fonctions de production économiques traditionnelles où les éléments pris en compte sont des données statistiques le plus souvent monétarisés.

Cette approche conventionnelle se repose généralement sur l'échantillonnage pour estimer les paramètres d'une fonction de production dont la forme est définie en avance. Une telle fonction est souvent de type Cobb-Douglas (élasticité de substitution égale à 1), CES (élasticité de substitution constante), Translog (combinaisons variant de la substituabilité totale à la complémentarité totale), Von Liebig, etc. Elles sont conçues comme un système de relation entre des variables dont certains sont aléatoires et dont il faut les préciser (Louhichi et al. 2006).

Toutefois, cette approche présente différents types de problème ; en effet, ces types de fonctions sont convexes et monotones, or comme on l'a signalé dans le chapitre précédent, l'hypothèse de convexité et de monotonie de la fonction d'externalité n'est pas toujours vérifiée, ce qui peut mettre en cause dans certains cas d'études les résultats obtenues en se basant sur ces fonctions.

D'un autre côté, des auteurs comme Boussard [1987] et Flichman [1997] ont signalé que :

- Le nombre limité d'observations dans l'échantillonnage représente un handicap quant à l'estimation des paramètres des fonctions (le nombre des observations doit en principe être beaucoup plus élevé que le nombre des paramètres à estimer) surtout dans le cas de certaines formes analytiques,
- L'utilisation des données d'une section transversale peut influencer les techniques de production par l'influence des prix relatifs entre inputs et output. De plus, on peut se demander si les unités de production sont soumises à la même fonction de production pour pouvoir estimer correctement les paramètres de la fonction commune à tout l'échantillon.
- L'utilisation des séries de données chronologiques suppose une fonction de production statique au cours du temps. On ne peut pas alors étudier le rôle du progrès technique.

En d'autres termes, si nous estimons les fonctions de production en utilisant des observations passées (séries chronologiques), ou des observations présentes (des sections transversales de données), il sera très difficile de présenter convenablement l'univers technique, d'autant plus que dans le secteur agricole où des phénomènes biologiques, agronomiques et écologiques conditionnent fortement le choix des techniques de production. (Abbes, 2005)

2- Méthodes basées sur les fonctions de production d'ingénieur

Les fonctions de production d'ingénieur représentent une méthodologie alternative pour l'estimation des fonctions d'externalités sans passer par le processus de monétarisation. Ces fonctions sont basées sur l'utilisation des informations concernant les coefficients techniques fournies par le savoir des agronomes pour établir la relation entre les facteurs de production et l'externalité.

Ces fonctions sont construites grâce aux modèles biophysiques capables de simuler les rendements et le niveau d'externalité (érosion) dans un contexte d'une grande diversité de techniques de production et sous des conditions pédoclimatiques très variées.

Ces modèles biophysiques, appelés aussi modèles de simulation de croissance des plantes sont en rapport avec l'état du sol, le mouvement de l'eau et les interventions humaines (labours, fertilisations, irrigations, etc.). Ils sont établis par des agronomes après de très longues observations sous forme de base de données autour de grandes fonctions biogéochimiques (Boussemart et al [1994] cité par Louhichi, 2001).

Cette méthodologie présente l'avantage de ne pas bâtir ses résultats sur une extrapolation du passé, ni sur les essais expérimentaux et elle permet l'extrapolation des résultats dans le futur. Cependant, elle nécessite une grande quantité d'informations et d'un grand nombre de paramètres et elle est très spécifique, d'autant plus lorsqu'il s'agit de l'étude des caractéristiques environnementales.

Les deux méthodes citées ci dessus permettent une estimation physique de la fonction de l'érosion. Cependant, en économie de l'environnement, l'internalisation de l'externalité demande généralement une monétarisation de sa valeur physique afin d'orienter le choix politique vers l'optimalité.

Dans le cadre de notre travail, nous nous demandons s'il est nécessaire de passer par une telle évaluation pour déterminer l'efficacité des différents instruments politiques mis en place pour contrôler l'érosion.

II- Internalisation des externalités d'origine agricole : une application des instruments standards est-elle requise?

Une fois les fonctions d'externalités sont estimées, leur internalisation dans le calcul économique s'effectue par le biais de certains instruments politiques mobilisés afin de parvenir à la satisfaction des objectifs environnementaux.

Parmi ces instruments, on cite :

- Les normes et standards techniques (instruments administratifs) qui s'ancrent dans la pratique des politiques environnementales développées activement dès les années soixante aux Etats-Unis.
- Les écotaxes, qui renvoient à l'analyse pigouvienne des externalités économiques et qui consiste à faire payer le pollueur, sous le contrôle de l'Etat, une taxe égale au montant du dommage. Cette taxe peut être accompagnée par la mise en place d'un dispositif d'antipollution. (Fauchaux et al cité par Louhichi et al 2006).
- Les permis d'émission négociables (ou «droits à polluer» ou «quotas transférables») dont l'origine doit être trouvée dans l'approche coasienne des droits de propriété sur l'environnement et dont la mise sur le marché fut proposée par J.H. Dales (1968). Cette procédure montre qu'en absence de coûts de transaction, il y a intérêt économique à ce qu'une négociation directe s'instaure entre pollueurs et victimes jusqu'à ce qu'ils arrivent à s'entendre sur le niveau de pollution acceptable.

À ces trois catégories se sont ajoutés les instruments d'action dits hybrides tels que les «normes avec pénalités», ou «*standards and charges*» selon W.J. Baumol et W.E. Oates [1971] et «paiements d'observance», ou «*safety valve*» selon *Resources For the Future* (2000). Ces instruments «hybrides» tentent de combiner de manière appropriée les avantages et inconvénients respectifs de la régulation environnementale par les prix et par les quantités (cité par Criqui, P.2005).

Dans le cas de l'agriculture, ces instruments trouvent peu du succès et constituent des solutions plutôt théoriques qu'empiriques notamment à cause des problèmes auxquels se heurtent les hypothèses de base de cette démarche d'internalisation (monotonie, convexité, concept d'optimum de Pareto où certaines limites théoriques sont difficilement surmontable : indivisibilité, non linéarité, rendements croissant, irréversibilité, ... (Louhichi et al 2006))

Afin de surmonter ces difficultés, d'autres instruments qui ne s'intègrent pas dans cette boîte à outils et qui se sont avérés plus efficaces en agriculture ont été élaborés. On note par exemple l'instauration des cahiers de charges visant le respect des normes relatives aux bonnes conditions agronomiques et écologique des sols, dont l'efficacité a été observée aux Etats-Unis.

L'union européenne s'est orientée aussi dans cette direction par le renforcement des conditions d'allocation des aides communautaires au respect des bonnes conditions agricoles et environnementales, notamment celles qui correspondent à la lutte contre l'érosion, le maintien de la structure des sols et leurs teneur en matières organiques.

L'internalisation s'effectue alors grâce à l'introduction des coûts d'entretien de l'environnement dans la sphère des coûts globaux de l'exploitation. Cependant, il existe d'autres coûts de nature administratif (coûts de suivi et de contrôle) qui ne peuvent être intégrés et qui restent à la charge des pouvoirs publics.

Conclusion

L'aperçu donné sur les différentes approches théoriques et méthodologique nous a permis de mettre en évidence leurs complémentarités et leurs convergences pour analyser la relation entre l'économie et l'environnement. Il met aussi en évidence une complexité particulière quand il s'agit de l'interface agriculture-environnement naturel où les phénomènes biophysiques interviennent fortement. L'érosion du sol constitue un exemple concret de cette relation complexe où plusieurs disciplines économiques

interviennent afin de trouver une solution pour un phénomène naturel dont l'activité économique est la principale cause.

L'analyse du phénomène érosif s'avère ainsi plus complexe que le prétend l'analyse standard de l'économie de l'environnement pour les externalités. Donc il faut s'orienter vers la recherche d'une méthodologie qui permet de prendre en considération cette complexité.

De plus, établir les rapports entre les changements de politiques et le choix des techniques, particulièrement quand des changements de politiques très importants sont affichés, ne peut se faire en utilisant des données du passé ou du présent, comme c'est le cas s'agissant de la démarche habituelle en économie de l'environnement, ni sur des essais expérimentaux, toujours très réducteurs par le nombre d'alternatives testées. Les limites de l'approche basée sur les fonctions de productions traditionnelles nous ont conduit à opter pour une autre approche plus originale. Dans le cadre de notre travail, il s'agit de se servir de fonctions de production « d'ingénieur » obtenues à partir des modèles biophysiques ou agronomiques en terme de coefficients techniques fournis par le savoir des agronomes.

Troisième partie :

Choix méthodologique et application empirique : la modélisation bioéconomique

Chapitre 1. La modélisation bioéconomique : spécification et intérêts pour l'analyse des politiques agri-environnementales

L'objectif du présent travail est d'évaluer les externalités (notamment l'érosion des sols) associées aux processus de production agricole et d'analyser l'impact des mesures agri-environnementales utilisées pour contrôler ces phénomènes. Cet objectif nécessite un raisonnement multi-objectifs et multidisciplinaire alliant notamment l'économie avec les sciences de la vie (biologie, écologie, agronomie, etc.) ainsi qu'une articulation des concepts et des outils propres à ces diverses disciplines afin de mieux apprécier la complexité des phénomènes environnementaux. Une telle articulation pourrait se faire par le biais des modèles bioéconomiques qui s'avèrent être des instruments particulièrement pertinents d'aide à la décision en matière d'environnement (Costanza, 1991). Ces modèles permettent de considérer un grand nombre de données de nature hétérogène et de multiples relations et objectifs parfois contradictoires ou conflictuels (Deybe, 1994).

La section suivante présente une bref esquisse sur le principe et le fondement de la modélisation bioéconomique ainsi que son intérêt pour l'analyse des problématiques agricoles et environnementales.

I – La modélisation bioéconomique : principe et intérêts pour l'analyse des problèmes environnementaux

La conceptualisation de la modélisation bioéconomique a commencé depuis les années 70 sur l'idée d'intégrer une composante de modélisation biologique à des modèles économiques lorsque les choix techniques sont fortement soumis à l'influence des facteurs biologiques, ce qui permet de mieux rendre compte des décisions techniques (Abbes, 2005).

Cette idée n'avait pas pour but d'analyser les impacts des politiques en économie agricole, mais plutôt dans une perspective normative de trouver la solution optimale à un problème de gestion de ressources naturelles (Flichman et Jacquet, 2003). Il s'agit donc de déterminer dans une dynamique économique le taux optimal de prélèvement ou d'exploitation d'une ressource et ainsi contribuer, indirectement, à la formulation des politiques à mener sans pour autant qu'elles soient simulées.

En agriculture et avec le développement des modèles biophysiques, l'utilisation de l'approche bioéconomique est devenue une tradition dans l'analyse des relations agriculture – écologie et l'analyse des politiques agricoles et environnementales. Elle est basée sur le couplage d'un modèle économique (faisant souvent appel à la programmation mathématique) modélisant les décisions des agriculteurs en matière de gestion des ressources à un modèle biophysique estimant, selon divers choix techniques, les fonctions de productions d'ingénieur et d'externalités, générées par les modes et les pratiques de production (Louhichi et al, 2005 et Bergon, 1999).

Le grand intérêt de l'approche bioéconomique est sa capacité à générer simultanément des résultats économiques, définies en termes de revenu, de mobilisation des forces de travail, de consommation d'intrants... et écologiques appréhendées comme des réalités physiques, mesurées comme telles, en échappant à l'arbitraire d'une évaluation monétarisée (Boisson, 1984). L'application de cette approche peut être située à différentes échelles allant du niveau de la ferme « *Farm model* » jusqu'au niveau continental passant par le niveau de la région, le secteur, le pays,...

1- Les modèles biophysiques

Les modèles biophysiques sont des modèles de simulation de croissance des plantes capables d'établir les rapports inputs/outputs en ce qui concerne la production végétale permettant à l'économiste de construire

la fonction de production d'ingénieur (Louhichi, 1997). Ces fonctions relient les actes techniques aux produits donnant ainsi des indications précises sur la réponse des cultures pour chaque combinaison de facteurs. Elles concernent aussi bien la production que l'externalité générées par des mécanismes agronomiques et biologiques bien connus.

La demande pour les modèles biophysiques a conduit au développement d'un nombre élevé de modèles parfois même de plus en plus spécialisés. Parmi ces modèles, on en cite quelques-uns capables de mesurer l'effet du sol, du climat et des pratiques culturales sur l'érosion et leurs effets sur les rendements des cultures :

- **EPIC** (*Erosion Productivity Impact Calculator*) développé pour simuler les effets du sol, du climat des pratiques et des rotations culturales sur l'érosion puis l'effet à long terme de celui-ci sur les rendements des cultures.
- **CROPSYST** (*Cropping Systems Simulation model*) initié par le département des systèmes biologiques de l'université de Washington (Etats Unis) au début de l'année 1990 et continue à se développer grâce à une coopération de chercheurs du monde entier. Ce modèle sert à étudier aussi les effets du climat, des sols et des pratiques culturales sur la productivité et l'environnement des systèmes de production. C'est un modèle à pas journalier mais aussi multi-annuel, ses résultats sont diversifiés et peuvent être observés en terme de rendement des cultures, de bilan d'eau drainé, d'érosion du sol, de nitrate lessivé de salinité, etc.
- **C.R.E.A.M.S** (*Chemicals Runoff and Erosion from Agriculture Management Systems*) est un modèle développé dans les pays à climat « tempérés » pour simuler l'effet de l'érosion (Haith D.A., 1987 cité par Louhichi 1997)
- **APES** (*Agricultural Production and Externalities Simulator*) est un modèle modulaire de simulation développé dans le cadre du projet européen SEAMLESS pour estimer les processus biophysiques des systèmes de production agricole en réponse aux conditions climatiques et aux différentes techniques de production. Il est développé pour certaines régions prenant en considération leurs spécificités climatiques et leurs types des sols. Il permet de déterminer pour plusieurs niveaux d'inputs, les rendements et les niveaux d'externalités.

En se basant sur plusieurs travaux effectués pour mesurer l'érosion du sol en agriculture et l'établissement des indicateurs d'érosion de sol utilisés par les décideurs politiques (exp. Flandres en Belgique), on a constaté que le modèle empirique de perte en terre de Wischmeier et Smith (USLE : *Universal Soil Loss Equation*), utilisé par les modèles biophysiques CropSyst et Epic est la méthode la plus utilisée pour calculer la moyenne de l'érosion par l'eau⁵. Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosivité des pluies (le facteur R, qui est égal à l'énergie potentielle) que multiplie la résistance du milieu, laquelle comprend K (l'érodibilité du sol), S L (le facteur topographique), C (le couvert végétal et les pratiques culturales) et P (les pratiques antiérosives). C'est une fonction multiplicative, de telle sorte que si un facteur tend vers zéro, l'érosion tend vers 0.

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Ce modèle de prévision de l'érosion est constitué d'un ensemble de **cinq sous-modèles** :

* **R, l'indice d'érosivité des pluies** est égal à E, l'énergie cinétique des pluies, que multiplie I₃₀ (l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure). Cet indice correspond aux

⁵ L'érosion éolienne ne sera pas prise en considération dans notre travail étant donné que le type d'aléa érosif dans la région d'étude est lié en particulier aux pluies et aux ruissellements.

risques érosifs potentiels dans une région donnée où se manifeste l'érosion en nappe sur une parcelle nue de 9 % de pente.

* **L'érodibilité des sols (K)** est fonction des matières organiques et de la texture des sols, de la perméabilité et de la structure du profil. Il varie de 70/100ème pour les sols les plus fragiles à 1/100ème sur les sols les plus stables. Il se mesure sur des parcelles nues de référence de 22,2 m de long sur des pentes de 9 % et sur un sol nu, travaillé dans le sens de la pente et qui n'a plus reçu de matières organiques depuis trois ans.

* **SL, le facteur topographique**, dépend à la fois de la longueur de pente et de l'inclinaison de la pente. Il varie de 0,1 à 5 dans les situations les plus fréquentes de culture en Afrique de l'Ouest et peut atteindre 20 en montagne.

* **C, le facteur couvert végétal**, est un simple rapport entre l'érosion sur sol nu et l'érosion observée sous un système de production. On confond dans le même facteur C, à la fois le couvert végétal, son niveau de production et les techniques culturales qui y sont associées. Ce facteur varie de 1 sur sol nu à 1/1000ème sous forêt, 1/100ème sous prairies et plantes de couverture, 1 à 9/10ème sous cultures sarclées.

* Enfin, **P**, est un facteur qui tient compte des pratiques purement antiérosives comme par exemple le labour en courbe de niveau ou le buttage, ou le billonnage en courbe de niveau. Il varie entre 1 sur un sol nu sans aucun aménagement antiérosif à 1/10ème environ, lorsque sur une pente faible, on pratique le billonnage cloisonné.

Il est important de noter que le recours à la modélisation biophysique n'est pas une étape indispensable à « l'appellation modèle bioéconomique ». En effet, l'estimation des fonctions d'ingénieur de production et d'externalité (c'est à dire la matrice inputs/outputs à introduire dans le modèle économique) peut être établie à partir des données expérimentales quand elles sont suffisamment complètes. Cependant, la complexité de la sphère environnementale d'une part, et la durée et les coûts élevés de l'expérimentation, d'autre part, rendent l'emploi de cette alternative presque impossible. Une troisième méthode basée sur la connaissance et le savoir des experts pour la production d'indicateurs, est apparue ces dernières années comme une véritable alternative (Carpy-Goulard, 2001).

2- Les modèles de programmation mathématique (MPM)

Les modèles de programmation mathématique sont des représentations simplifiées mais quantifiées d'un phénomène réel. Ils permettent d'obtenir la combinaison optimale entre différentes activités soumises à diverses contraintes et concourant à la réalisation d'un objectif donné. Leurs constructions restent souvent assez difficiles du fait de la complexité du monde réel (Boussard, 1987).

L'hypothèse de base des modèles de programmation stipule que la rationalité d'un individu consiste à maximiser une fonction d'utilité sous contraintes. Cette hypothèse, issue de la théorie néoclassique, a fortement contribué au développement de cette approche en tant qu'outil d'analyse et d'aide à la décision car elle correspond parfaitement à celle de la microéconomie classique : rationalité et caractère optimisateur de l'agent (Bortzmeier, 1992).

Selon son usage, le modèle de programmation mathématique se qualifie d'une approche positive ou approche normative. Au niveau de l'exploitation agricole, Flichman et Jacquet [2003] définissent l'approche positive comme une approche qui essaye de modéliser le comportement actuel de l'agriculteur alors que l'approche normative essaye de trouver la solution optimale pour l'allocation et la gestion des ressources.

Pour l'analyse des politiques agricoles et agrienvironnementales, il serait préférable de disposer tout d'abord d'un MPM positif descriptif susceptible de reproduire le comportement des agents ; puis, en modifiant les paramètres des politiques, ce modèle pourrait être étendu, dans une perspective normative prescriptive, à l'analyse d'impact de divers scénarios de politiques.

Les MPM peuvent être utilisés sur deux échelles temporelles : statique et dynamique. Les modèles statiques ne tiennent pas compte de manière explicite du temps contrairement aux modèles dynamiques

où le temps est pris en considération explicitement de telle manière que l'optimisation soit faite sur un flux de valeurs actualisés.

Dans un modèle de programmation dynamique ou multipériodique, on part d'une situation initiale et on choisit des plans de production pour les années à venir en tenant compte de toutes informations disponibles sur le futur, à savoir les anticipations sur les prix et sur les rendements techniques (Louhichi, 2001).

Dans les modèles statiques ou monopériodiques, l'optimisation s'effectue pour une seule période sans prendre en compte les résultats des années précédentes. Les plus répandus de ces modèles sont les modèles statiques comparatifs utilisés pour simuler et comparer diverses politiques dans une même ou à différentes périodes.

II- Spécification du modèle bioéconomique choisi : statique comparatif

Le modèle bioéconomique retenu dans le présent travail provient d'une seule source ; en effet, dans le cadre du projet européen SEAMLESS (*A System for Environmental and Agricultural Modelling ; Linking European Science and Society*), le groupe de recherche de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier a réalisé un modèle prototype intégrant des données environnementales obtenues à partir d'un modèle biophysique typique aux exploitations des grandes cultures du Midi-Pyrénées. Ce modèle a été conçu pour évaluer l'impact des politiques environnementales pour contrôler la pollution par les nitrates d'origine agricole. Nous avons alors utilisé ce modèle comme base pour notre travail, auquel nous avons effectué les modifications nécessaires pour qu'il soit valable dans le cas de l'érosion de sol.

Le modèle de programmation mathématique, il est de type statique comparatif capable de répondre aux questions posées. Dans un premier temps, nous essayerons de reproduire le comportement actuel de l'agriculteur, puis le projeter dans le futur en adoptant certaines hypothèses, ensuite on simulera différents scénarios de politique afin de mesurer leurs impacts sur les choix techniques mais aussi sur les résultats économiques et environnementaux de l'exploitation. La figure 4 ci-dessous schématise la démarche adoptée.

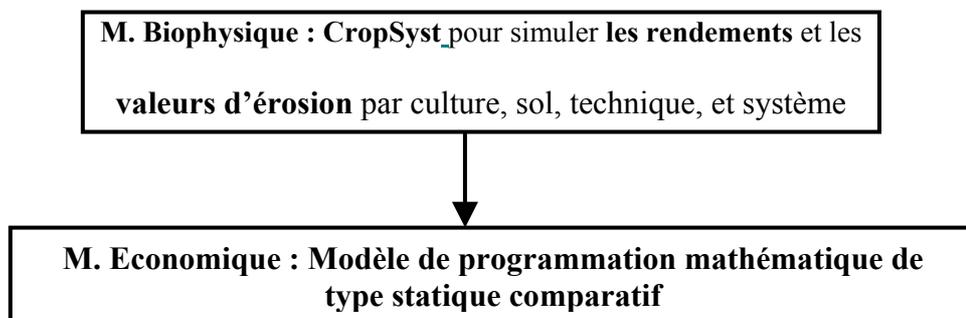


Fig. 4 : démarche méthodologique

Tableau 2 : Principales caractéristiques du modèle utilisé

Type de modèle	Modèle statique comparatif de programmation mathématique à caractère micro-économique
Technique de calibrage	Risque (voir chapitre suivant –II.2)
Structure	Modèle d'offre au niveau d'une exploitation, pas de demande
Types d'outputs	Le plan de production, le niveau de l'offre, les revenus agricoles, le niveau de l'externalité...

Chapitre 2. Application empirique à une exploitation de Lauragais

I- Présentation de l'exploitation agricole retenue

Le champ d'application de notre approche concerne une exploitation de grandes cultures située dans la région du Lauragais. Ce choix est justifié par la spécificité agricole de la région du Lauragais (cultures du blé, tournesol, maïs, soja, colza, etc.) mais aussi par ses caractéristiques naturelles qui ont fait de cette région une des zones à risque érosif très fort (cf. carte 2).

Cette exploitation est de taille moyenne et dispose d'un peu d'irrigation. Sa superficie agricole utile (SAU) est de 110 ha répartie sur deux types de sols : 60 ha sont des sols argilo-calcaire, le plus souvent érodés et 50 ha sont de type boulbène. L'agriculteur dispose d'une capacité d'irrigation pouvant couvrir 20% du premier type de sol (argilo calcaire) et 50% du deuxième sol (boulbène), soit 37 ha sont irrigables.

L'agriculteur pratique en général 6 types de cultures appartenant à deux familles de cultures, les céréales qui regroupent les cultures du blé dur, blé tendre, l'orge et maïs et la famille des oléagineux qui contient le tournesol et le soja.

L'eau d'irrigation est utilisée principalement pour les cultures du maïs et du soja dont les rendements sont très dépendants de ce facteur de production.

Tableau 3: Caractéristiques de l'exploitation agricole

Types de cultures		SAU	Sols (S)	S Irriguée
Famille	Cultures		Type	
Céréales	Blé, maïs, orge	110 ha	Argilo calcaire : 55%	12 ha
Oléagineux	Tournesol, soja		Boulbène : 45%	25 ha

Dans la section suivante, nous exposerons rapidement la structure générale de notre modèle économique et les différentes données utilisées par celui-ci, ensuite nous analysons les résultats de la mise en place des instruments politiques pour contrôler l'érosion.

II- Présentation du modèle économique

Le modèle utilisé est une représentation simplifiée mais quantifiée d'un phénomène réel. Il permet d'obtenir la combinaison optimale entre différentes activités soumises à diverses contraintes et concourant à la réalisation d'un objectif donné (Boussard, 1987).

La structure générale du modèle choisi se présente comme suit :

Optimiser une fonction objectif :
$$\text{Max } F = \sum_i B_i X_i$$

Sous contraintes :
$$\sum_i a_{ki} X_i \leq b_k$$

$$X_i \geq 0$$

Avec F: la fonction objectif à optimiser, B_i le bénéfice de chaque activité i , a_{ki} les coefficients techniques correspondants aux besoins en facteurs de production k , b_k les disponibilités en facteurs de production k et X_i la variable (surface par activité i) dont la valeur est déterminée de manière endogène.

1- Activités productives et coefficients technico-économiques.

A- les activités productives

Les activités pratiquées par l'agriculteur sont définies dans le modèle par rapport à une culture (C), un type de sol (S), un itinéraire technique (T) et un système de production (SYS). Pour notre travail, on a retenu 6 cultures définies sur deux sous-ensembles (céréales et oléagineux), 2 techniques correspondant à une technique en sec et une technique en irriguée et 2 systèmes de production qui définissent le niveau de conservation du sol contre l'érosion (conventionnel et conservateur). Dans le système conventionnel, le travail du sol est intensif avec des instruments aratoires (charrue à soc, chisel, pulvérisateur à disques en tandem, cultivateur). Le système conservateur consiste aux pratiques de labour minimal ou au travail superficiel du sol sans retournement avec un entretien des terres en gel, en herbe et celles mises hors de production.

Tableau 4: présentations des cultures, sol, techniques, systèmes et notations utilisées

Eléments utilisées dans la définition de l'activité agricole		Code en GAMS
Cultures (c), précédents culturaux (pc)	Blé tendre	SWHE
	Blé dur	DWHE
	Orge	BARL
	Maïs	MAIZ
	Tournesol	SUNF
	Soja	SOYA
Techniques	En sec	T1
	En irrigué	T2
Sols	Argilo calcaire	S1
	boulbène	S2
Systèmes de production	Conventionnel	CONV
	Conservateur	CONS

B- Validation des coefficients technico-économiques

Les coefficients technico-économiques associés à ces activités pratiquées proviennent de différentes sources. Les données économiques (prix, coûts...) proviennent de la base de données de la chambre d'agriculture du Midi-Pyrénées. Celles des rendements et de l'érosion sont générées par le modèle biophysique Cropsyst et ils sont spécifiés par culture, sol, technique et système.

Cropsyst est un modèle avec un jeu de données d'entrée et un jeu de données de sortie. Pour le valider, il faut calibrer le modèle sur un jeu de données d'entrée en modifiant les paramètres ou coefficients du modèle afin d'obtenir par apprentissage le même jeu de données de sortie que celui trouvé dans la réalité. C'est une façon assez simple de concevoir la validation d'un modèle, qui est acceptable en tant qu'agronome (Carmona et al, 2005, Toilier et al, 2004).

Dans notre cas, le calibrage a été effectué par l'ajustement de certains paramètres dans un intervalle raisonnable de fluctuation déjà défini et identifié par des expériences précédentes menées dans la même région d'étude. Selon ce principe, simplement quelques paramètres ont été calibrés en minimisant la différence entre les rendements observés dans la région du Midi-Pyrénées et ceux simulés. Ainsi, deux paramètres ont été retenus pour effectuer le paramétrage du modèle : le coefficient « biomasse - transpiration, K_{BT} » et le coefficient « l'efficacité d'utilisation du rayonnement, K_{LB} ».

Les principaux résultats en termes d'érosion obtenus grâce au modèle biophysique Cropsyst sont récapitulés comme suit :

- Les niveaux d'érosion observés sont élevés en particulier pour les cultures de blé dur, blé tendre, le tournesol et l'orge. En effet, les céréales laissent le sol découvert pendant l'automne et la période hivernale où les pluies torrentielles associées à des pentes assez fortes causent des pertes en terres considérables.
- Les valeurs d'érosion associées à la jachère sont souvent modérées car nous avons considéré uniquement la jachère non travaillé (c'est-à-dire aucun travail du sol ne lui a été associé) qui constitue la pratique dominante.
- La plus petite valeur d'érosion a été associée aux bandes enherbées vu leurs natures antiérosives. Pour introduire ces bandes dans Cropsyst, on a simulé une espèce de graminée (*ray grass*) qui présente l'avantage d'occuper rapidement le sol avec une densité de végétation importante et qui est très utilisée en tant que couverture environnementale.
- Pour les autres cultures comme le maïs et le soja, ils laissent le sol nu de début mai jusqu'au fin juin où le vent et les orages violents du début d'été aggravent les pertes en terres.

2- La fonction - objectif et prise en compte du risque

En modélisation économique, l'identification et la hiérarchisation des objectifs permettent de distinguer un objectif principal des objectifs secondaires, ces derniers étant modélisés sous forme de contraintes. Dans la présente maquette, l'objectif principal retenu est une maximisation du revenu net annuel espéré en tenant compte du risque climatique et du marché : il permet de représenter la fonction d'utilité réelle du producteur « rationnel ». Cette hypothèse de rationalité est parfois discutée lorsqu'on l'applique aux agriculteurs. Ils font quelquefois des choix autres que ceux qui selon la logique de l'analyste (c'est-à-dire une logique d'optimisation) devraient être faits. D'autres économistes estiment qu'ils sont rationnels mais leurs objectifs ne sont pas ceux d'un entrepreneur capitaliste (Louhichi, 2002).

L'introduction du risque dans cette maquette a pour objectif d'avoir un modèle plus réaliste capable de reproduire ou du moins de se rapprocher le plus possible de la réalité. En effet, le risque joue un rôle capital dans la prise de décision du producteur et il modifie fortement son comportement, donc le négliger conduit certainement à un modèle plutôt normatif-prescriptif. L'introduction du risque permet, en effet, un calibrage approximatif du modèle. Il assure un ajustement des prévisions du modèle aux données observées en acceptant une déviation résiduelle entre la simulation et la réalité (Louhichi, 2006)

La méthode retenue pour la prise en compte du risque est l'« espérance écart-type » inspirée du modèle espérance variance qui consiste à maximiser l'espérance de revenu tout en minimisant la variabilité de celui-ci.

Avec cette méthode, la fonction- objectif du modèle est une fonction d'utilité « multi-objectifs » qui prend en compte simultanément la maximisation du revenu moyen et la minimisation de ses fluctuations. Elle s'écrit sous la forme :

$$U = Z - \text{PHI} * \text{STDV} \quad (1)$$

U : utilité

Z : le revenu net annuel espéré

PHI : est le coefficient d'aversion au risque. Pour déterminer la valeur à attribuer à ce coefficient, nous avons lancé le modèle avec différentes valeurs comprises entre 0 et 2 et ensuite nous avons choisi la valeur pour laquelle le modèle donne les résultats (notamment en terme d'assolement) le plus proche de la réalité. Cet intervalle seuil (0, 2) est fixé selon la littérature.

STDV : l'écart-type par rapport à l'espérance du revenu annuel (variation standard du revenu)

Avec :

$$Z = \sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} Y_{c,pc,s,t,sys} \text{Price}_c - \sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} \text{COSTS}_{c,pc,s,t,sys}$$

$$+ \sum_{C,PC,S,T,SYs} X_{c,pc,s,t,sys} DSHA_{c,t} \quad (2)$$

Où

- $X_{c,pc,s,t,sys}$: la superficie allouée à chaque activité définie par culture, précédent cultural, sol, technique et système (en ha).
- $Y_{c,pc,s,t,sys}$: le rendement par activité (en quintal/ha).
- $Price_c$: le prix des cultures (en euros/quintal).
- $COSTS_{c,pc,s,t,sys}$ le coût total par activité (en euros/ha)
- $DSHA_{c,t}$: le niveau des primes par culture et par technique (en euros/ha).

L'écart type STDV est calculé d'une façon endogène à partir des déviations totales entre le revenu net annuel Z et le revenu en fonction des états de nature (nat) exprimé par :

$$\text{Ecart type :} \quad \text{STDV} = \sqrt{\frac{\sum_{nat} DEV_{nat}^2}{100}} \quad (3)$$

100 : c'est le nombre total des états de nature

- DEV_{nat} : déviation du revenu selon les états de nature
- $$DEV_{nat} = ZN_{nat} - Z \quad (4)$$

- ZN_{nat} est le profit par état de nature. Calculé avec l'équation (2) où le prix ($Price_c$) est remplacé par le paramètre $PNN_{c,nat}$, prix des cultures par état de nature avec,
- $$PNN_{c,nat} = price_c * coeff_{c,nat} \quad (5)$$

3- Les contraintes technico-économiques

Les contraintes traduisent la concurrence qui existe entre plusieurs activités ou variables pour l'emploi d'une ressource limitée, ainsi que l'influence qu'exerce une mesure économique ou politique exogène sur la combinaison productive (Carpay-Goulard 2001). Les contraintes qui pèsent sur notre modèle sont de nature technique et économique. Dans un premier temps, on présentera les contraintes techniques liées à l'activité agronomique, ensuite nous introduirons les contraintes économiques et politiques qui sont en relation avec la lutte contre l'érosion.

A- Occupation du sol

L'objet de cette contrainte est de limiter la disponibilité en terre : la somme des surfaces consacrées aux différentes cultures a une surface inférieure ou égale à la SAU total de l'exploitation. Dans notre cas, comme nous avons spécifié la disponibilité de terre en fonction du type de sol, la contrainte s'écrit comme suit :

$$\sum_{c,pc,t,sys} X_{c,pc,s,t,sys} \leq LANDAV_s \quad (6)$$

Où $\sum_{c,pc,t,sys} X_{c,pc,s,t,sys}$ représente les hectares retenus dans chaque type de sol et $LANDAV_s$ est la surface disponible par type de sol.

B- Terres irriguées

Cette contrainte concerne les terres irrigables c'est-à-dire disposant d'arrivée d'eau : la somme des surfaces consacrées aux cultures irriguées ne doit pas dépasser la superficie irrigable par type de sol

$$\sum_{c,pc,ti,sys} X_{c,pc,s,ti,sys} \leq IRR(s) * LANDAV_s \quad (7)$$

Où IRR_s représente le pourcentage des terres irrigables par type du sol.

Pour ce qui est de la disponibilité en eau d'irrigation, elle n'est pas contraignante dans notre modèle car l'agriculteur ne dépasse jamais le volume d'eau auquel il a droit.

C- Précédents cultureux

La question des successions culturales est primordiale dans les choix de l'assolement. Les cultures ont des effets négatifs ou positifs pour la culture suivante au niveau de l'état sanitaire de la parcelle, des risques de repousses, des éléments nutritifs du sol, de la date d'implantation. En effet, un blé n'aura pas le même rendement, ni le même itinéraire technique s'il est cultivé en monoculture pendant plusieurs années, ou s'il est inclus dans une rotation. Le tableau ci-dessus permet d'apprécier les successions culturales d'un point de vue agronomique. La note 1 correspond au cas très favorable et 5 à l'impossibilité d'implantation.

Tableau 5 : Matrice des différentes combinaisons possibles entre culture et précédent cultural.

CULTURES	PRECEDENTS							
	Blé tendre	Blé dur	Orge	Maïs	Maïs irrigué	Tournesol	Soja	Soja irrigué
Blé tendre	3	3	3	2	2	1	1	2
Blé dur	3	4	3	3	3	1	1	2
Orge	2	2	4	3	3	1	2	3
Maïs	1	1	1	2	2	2	3	2
Maïs irrigué	1	1	1	2	3	2	2	1
Tournesol	1	1	1	2	2	4	4	4
Soja	1	1	1	2	2	3	4	4
Soja irrigué	1	1	1	2	1	3	4	4

Source : extrait de Carpy-Goulard, 2001 d'après P.Viaux

La modélisation de la rotation ou de la succession culturale dans un modèle statique est loin d'être facile. Pour l'inclure dans notre modèle nous avons adopté un raisonnement très simple. Il consiste à spécifier les coefficients techniques de chaque culture en fonction du précédent cultural (rotations biennuelles) en essayant de prendre en compte toutes les combinaisons possibles définies précédemment en fonction des notes 1 jusqu'à 3 et ensuite de rajouter des équations (contraintes) qui limitent par type de sol les superficies de chaque culture au total des superficies de ses précédents cultureux. En d'autres termes : « si l'année en cours, il y a X ha de Blé tendre sur le sol S1, alors l'année prochaine le choix d'implantation sur le même type de sol sera, pour ces X ha limité aux cultures autorisées ayant pour précédent cultural le blé tendre ».

L'équation générale de cette contrainte est la suivante :

$$\text{ROTATION (S)} \quad \sum_{C,T,SYS} X_{c,"culture",s,t,sys} \leq \sum_{PC,T,SYS} X_{"culture",pc,s,t,sys} \quad (8)$$

On note qu'il y a autant d'équations que de culture.

D- Contraintes institutionnelles et politiques

L'obligation de jachère

En référence au règlement de la politique agricole commune, un taux de jachère égale à 10% de la surface allouée aux cultures de céréales, oléagineux et protéagineux (SCOP) est obligatoire. Ce pourcentage minimal est indispensable à satisfaire pour pouvoir bénéficier des aides européennes. Cependant un taux maximal de 30% de la SCOP est à ne pas dépasser. La jachère est introduite dans le modèle sous la

nomination 'FALL' dérivée de l'anglais 'fallow' et elle est représentée par une double contrainte (9 et 10) :

$$\sum_{PC,S,T,SYS} X_{FALL,pc,s,t,sys} \geq 0.1 * \sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} \quad (9)$$

$$\sum_{PC,S,T,SYS} X_{FALL,pc,s,t,sys} \leq 0.3 * \sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} \quad (10)$$

Dans note modèle, la surface SCOP est équivalente à la SAU puisque toutes les cultures retenues et qui sont pratiquées sur l'exploitation sont : soit des céréales, des oléagineux soit des protéagineux. Il n'y a ni cultures fourragères, ni cultures industrielles, ni cultures pérennes, ni autres.

E- Prise en compte de l'érosion

L'équation de l'érosion est formulée comme un comptage des tendances. Elle consiste à introduire dans le modèle une équation de comptage de l'érosion générée par les diverses cultures en fonction de leurs précédents cultureux, le type de sol, la technique utilisée et le système de production.

$$\text{Erosion par culture :} \quad \sum_{pc,s,t,sys} X_{c,pc,s,t,sys} * EROS_{c,pc,s,t,sys} = EROSL(c) \quad (11)$$

$$\text{Totale érosion au niveau de la ferme :} \quad \sum_c EROSL(c) = erost \quad (12)$$

$$\text{Erosion moyenne/ha:} \quad = erost / \sum_{c,pc,s,t,sys} X_{c,pc,s,t,sys} \quad (13)$$

Avec :

$EROS_{c, pc, s, t, sys}$: défini le niveau de l'érosion par culture, par précédent cultural, par type sol, par technique et par système. Ces valeurs sont générées à partir des simulations effectuées à l'aide du modèle biophysique Cropsyst et introduites sous forme de paramètre dans le modèle économique.

III- Analyse de la situation de base et validation du modèle

L'objectif principal de cette section est de vérifier la robustesse du modèle et de décrire la situation initiale (économique et environnementale) de l'exploitation. Pour atteindre cet objectif, nous lancerons le modèle pour l'année 2001, choisie comme année de base pour calibrer le modèle et ensuite nous comparerons les résultats de la simulation à ceux réellement observés. Si le pourcentage de déviation absolue moyenne⁶ (PAD) entre les résultats simulés et observés pour les variables de décisions choisies (assolement et revenu) ne dépasse pas les 20%, alors le modèle peut être considéré comme robuste et peut être utilisé pour simuler les scénarios sélectionnés.

Le seuil de 20% que nous avons retenu reste subjectif car dans la littérature, il n'existe ni valeur « de référence » ni consensus sur la méthode statistique à adopter pour évaluer la qualité d'un modèle. Pour les modèles sectoriels, Hazell et Norton ont suggéré, par exemple, qu'un pourcentage de déviation absolue (PAD) pour la production et la surface cultivée au dessous de 10% est bon, inférieur ou égale à 5% est exceptionnel et plus de 15% indique que le modèle nécessite une amélioration avant d'être utilisé pour faire des simulations (Hazell et Norton, 1986).

$${}^6 \text{ PAD (\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{X}_i - X_i|}{\sum_{i=1}^n \hat{X}_i} . 100 \quad ; \hat{X}_i : \text{niveau observé} \quad ; X_i : \text{niveau simulé}$$

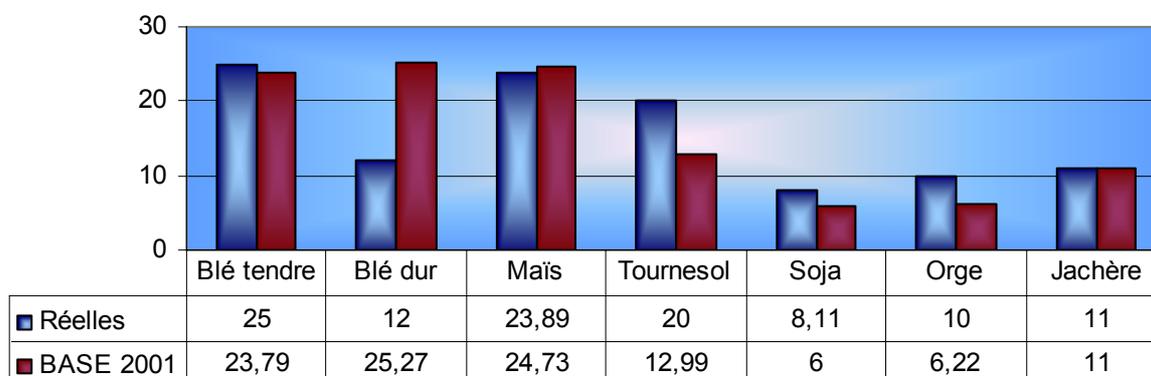
La variable de calibrage retenue est le plan de production (c.à.d. l'assolement) car il constitue la principale variable de décision dans notre modèle mais aussi en raison de la disponibilité des données. La réforme de l'Agenda 2000 (depuis 2000) constitue la politique de l'année de base. Cette politique se caractérise essentiellement par le paiement compensatoire et l'obligation jachère. Les aides sont ainsi données à l'hectare et diffèrent d'une culture à une autre et d'une région à une autre puisqu'elles sont calculées à partir des rendements de références régionaux et du taux de la prime.

Le plan de production observé pendant l'année de base est le suivant : 26 % de la superficie cultivée (sans tenir compte de la jachère) était consacré à la culture blé tendre, 12 % pour le blé dur, 8% pour soja, 6% pour l'orge, 26% pour le tournesol et 24% pour le maïs.

La comparaison entre l'assolement réel et l'assolement simulé montre des écarts assez variés notamment pour le blé dur et le tournesol qui peuvent être expliqués par le fait que l'agriculteur n'était pas encore adapté à la réforme de la PAC de 1999. En effet avant cette date, la superficie allouée au blé dur était limitée à 12% de la superficie agricole utile malgré que cette culture représente une bonne opportunité de bénéfice. L'agriculteur cherchait alors à compenser le manque à gagner en cultivant plus de tournesol. Suite à l'agenda 2000 l'agriculteur n'a pas changé beaucoup de son assolement ce qui explique la variation d'assolement donnée par le modèle.

Cependant, la déviation absolue moyenne entre les assolements simulés et observés calculé par groupe de culture (céréale, oléagineux) est d'une valeur de 16.3%. Cette valeur est inférieure au seuil de 20% que nous avons fixé pour juger la robustesse du modèle. Le modèle est alors considéré d'une qualité acceptable puisqu'il conduit à des plans de production de base voisins de ceux effectivement réalisées (graphique 1), nous permettant ainsi de continuer les simulations des instruments politiques.

Graphique 1: Comparaison de l'assolement simulé avec l'assolement réel



Les résultats technico-économiques obtenus reflètent parfaitement la réalité et la logique économique montrant ainsi qu'en absence de contraintes environnementales le modèle choisira uniquement les cultures ayant une forte rentabilité mais qui provoque aussi plus de dégât érosif (cf. tableau n°6).

Tableau 6 : bilan de l'exploitation

	Valeur
Coût total (€)	17645.72
Aide totale (€)	41230.69
Revenu Z (€)	96450.51
Erosion globale (tonnes/an)	785.04

D'après ce tableau, on remarque que l'agriculteur dégage un revenu important dont près de la moitié (43%) proviennent des aides européennes. L'externalité jointe à l'activité agricole est aussi élevée, en effet la valeur de l'érosion indique que les pertes moyennes sur l'exploitation est de l'ordre de **785.04 T/an**. Ce niveau élevé d'érosion risque de provoquer à long terme une diminution de la fertilité du sol et en conséquence une réduction de la rentabilité de l'exploitation.

IV- Situation de référence : la réforme de la PAC de 2003 (découplage des aides)

Le scénario de référence choisi pour cette analyse correspond à la réforme de la PAC de juin 2003. Ce scénario servira comme référence pour la comparaison des résultats des différents scénarios simulés.

La réforme de la PAC de 2003 comprend principalement l'adoption du découplage des aides et leur modulation de 5% à partir de 2007 mais aussi l'alignement des primes des céréales, des oléagineux et des protéagineux.

L'alignement des primes consiste à :

- adopter une prime de base de 63 €/T pour les céréales, oléagineux et protéagineux. Cette prime est aussi modulée par département,
- réduire le paiement supplémentaire pour le blé dur à 285 €/ha au lieu de 344,5€/ha,
- éliminer la prime supplémentaire de 9,37€/T pour les oléagineux afin de les aligner à celle des céréales et les protéagineux (Louhichi et al, 2006 (b)).

La réforme 2003 a renforcé aussi le principe d'éco-conditionnalité qui oblige les agriculteurs à maintenir leurs terres agricoles dans des conditions agronomiques et environnementales satisfaisantes afin de recevoir les aides. Cependant, afin d'apprécier d'une manière isolée l'impact de ces mesures, nous avons décidé de ne pas les prendre en compte dans le scénario de référence mais plutôt de les analyser comme des scénarios de politique.

Le découplage partiel des aides retenu pour cette analyse comprend un couplage à 25 % des primes des céréales, oléagineux et protéagineux. L'horizon visé par le scénario de référence et les scénarios de politique est l'année 2007. Aucune évolution de prix ni de rendements n'a toutefois été introduite lors de l'utilisation du modèle entre l'année 2001 (année de base) et 2007 (année de référence).

Pour prendre en compte la nouvelle réglementation de la PAC, nous avons modifié l'expression de calcul des aides attribuées à l'agriculteur. La forme primaire de cette dernière présentée antérieurement dans l'équation (2 : voir équation 14) a été reformulée de façon à tenir compte du découplage et de la modulation des aides.

$$\sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} DSHA_{c,t} \quad (14)$$

En effet, les subventions de la PAC sont attribuées en partie sous forme d'aides découplées de la production à hauteur de 75%. Cette aide découplée s'appelle Droits à Paiement Unique (DPU) et elle est calculée selon les références historiques de l'exploitation entre les années 2000 et 2002.

La valeur de ce droit est considérée comme un paramètre fixe calculé en multipliant la prime de base (exprimée en euro par quintal) par le rendement de référence du département pour les cultures SCOP (pour obtenir le montant de la prime par hectare) ensuite par la superficie de référence de l'agriculteur (moyenne des surfaces primées pendant les trois années 2000, 2001, 2002). Le tout multiplié par 0,75 (le degré de découplage) et par un coefficient départemental de réduction d'aide qui est de 3% pour Midi-Pyrénées et enfin par 0,95 pour prendre en compte la modulation de 5%.

Pour le gel de terre, si l'agriculteur détient des droits de mise en jachère définis sur la même base historique, il devra les faire valoir avant les autres aides découplées. Dans notre cas, nous avons considéré

la superficie de référence pour la jachère égale à 10% de l'SAU et celle des autres cultures est égale au reste de la SAU (soit 90% de l'SAU). Les paramètres de calcul du montant de l'aide découplée sont introduits dans le modèle de la façon suivante :

$$V_droit = prime * rdtr * S_ref * (1-0.03) * 0.75 * 0.95 \quad (15)$$

A cette valeur de droit, on ajoute l'aide découplée associée au droit de jachère pour obtenir l'aide totale découplée :

$$droit_j = prime * rdtr * (1-0.03) * 0.95 * 0.75 * 0.10 * SAU \quad (16)$$

$$aide_dc = V_droit + droit_j \quad (17)$$

On note qu'une partie des aides reste couplée à la surface, cependant leur montant ne doit pas dépasser une valeur maximale égale à 25% de la valeur de droit.

$$max_aidecp = S_ref * prime * rdt * (1-0.03) * 0.25 * 0.95 \quad (18)$$

Ce seuil fixant le montant des aides couplées peut avoir une influence sur le choix culturel de l'agriculteur. En effet, ce dernier n'a pas intérêt à produire des cultures COP sur des superficies plus grandes que celles de sa référence à moins qu'elles soient très rentables, car il n'aura des aides que sur la base de la superficie déclarée pendant les trois années de référence.

L'aide couplée est calculée dans le modèle par l'équation suivante :

$$\sum_{PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} * DSHAcop_{c,t} * 0.25 = aide_c \quad (19)$$

Avec

- $DSHAcop_{c,t}$: le niveau des primes par culture et par technique après alignement (en euros/ha).

L'ensemble des aides versées à l'agriculteur est égal alors à la somme des aides découplées et des aides couplées dans la limite où cette dernière ne dépasse pas le seuil fixé. Pour cela, le modèle doit comparer la somme des « aide(c) » au « max_aidecp » et choisit la plus petite.

La formulation des aides dans la fonction de revenu (équation : 2) change sous la forme suivante :

$$Aide_dc + \min \left(\sum_c aide_c, max_aidecp \right) + \sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} Sup_Aide_{c,t} \quad (20)$$

Avec : $Sup_Aide_{c,t}$ est l'aide supplémentaire pour la culture du blé dur et la culture du maïs conduite en irriguée.

V- Scénarios de politique publique

Dans ce paragraphe, on présentera les scénarios de politique à simuler ainsi que la façon dont ils sont pris en compte dans le modèle. L'horizon visé par les scénarios de politique est l'année 2007.

- Scénario 1 : l'écoconditionnalité : conditionnalité des aides à l'implantation des bandes enherbées
- Scénario 2 : les mesures agrienvironnementales : introduction des cultures intercalaire et l'adoption des techniques d'entretien minimal des terres.
- Scénario 3 : l'écoconditionnalité associé aux mesures agrienvironnementales.

1- Scénario 1 : l'écoconditionnalité : conditionnalité des aides à l'implantation des bandes enherbées

La première mesure simulée consiste en « l'implantation de dispositifs enherbés en remplacement de culture arable. Cette mesure s'inscrit dans des objectifs de protection des sols des risques érosifs et permet de limiter les risques de pollutions diffuses dans les sols et les eaux. Pour recevoir les aides, l'agriculteur est obligé de consacrer 3% de ses superficies en céréales, oléagineux et protéagineux, lin, chanvre et gel à l'implantation localisé de bandes enherbées ou avec couverts environnementaux. La mise en place de ces bandes donne droit aussi à une aide « aidebherb » par hectare sauf en 2007 où seules les surfaces allant au-delà de l'exigence minimale sont primées (Mosnier, 2005). La surface à implanter en couvert environnemental est plafonnée à l'obligation de gel (10%).

Si l'agriculteur ne respecte pas cette exigence, ses aides seront diminuées de 5%. Ce dispositif est traduit dans le modèle par une double contrainte :

$$\sum_{pc,s,t,sys} X_{bherb,pc,s,t,sys} \geq 0.03 * \sum_{C,pc,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} * binbherb \quad (21)$$

$$\sum_{pc,s,t,sys} X_{bherb,pc,s,t,sys} \leq \max herb \quad (22)$$

Avec : binbherb : variable binaire qui prend la valeur 1 quand l'agriculteur met en place la bande enherbée et 0 dans le cas inverse.

Maxherb : scalaire qui fixe la limite supérieure des bandes en herbes.

Les aides allouées aux bandes enherbées s'expriment également par deux équations et elles sont regroupées sous la variable « subbherb »

$$\left(\sum_{pc,s,t,sys} X_{bherb,pc,s,t,sys} - 0.03 * \sum_{C,pc,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} \right) * binbherb1 \geq 0 \quad (23)$$

$$\left(\sum_{pc,s,t,sys} X_{bherb,pc,s,t,sys} - 0.03 * \sum_{C,pc,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} \right) * aidebherb * binbherb1 = subbherb \quad (24)$$

Où : binbherb1 : variable binaire qui prend la valeur 1 quand la superficie de la bande est supérieure à l'exigence minimale de 3% et 0 dans le cas inverse.

Avec l'implantation de cette nouvelle mesure, l'équation du revenu Z devient :

$$\begin{aligned} Z = & \sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} Y_{c,pc,s,t,sys} Price_c \\ & - \sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} COSTS_{c,pc,s,t,sys} \\ & + (aide_dc + \min(\sum_c aide_c, \max_aidecp)) * (1 - 0.05 * (1 - binbherb)) \\ & + subbherb \\ & + \sum_{C,PC,S,T,SYS} X_{c,pc,s,t,sys} Sup_Aide_{c,t} \end{aligned} \quad (25)$$

2- Scénario 2 : les mesures agrienvironnementales : introduction des cultures intercalaires et adoption des techniques d'entretien minimal des terres.

Ce scénario consiste dans un premier lieu à introduire une culture intercalaire (ou intermédiaire) entre deux cultures principales afin de simuler son effet sur la réduction de l'érosion, ensuite de tester l'impact du changement de système de production, d'un système conventionnel qui nécessite beaucoup de travail du sol vers un système conservateur de labour et d'entretien minimal des terres.

Ces mesures engendrent des coûts supplémentaires pour l'agriculteur dus aux différents types de travail du sol et à l'achat des semences pour le couvert environnemental, l'implantation et la destruction. Cependant les effets positifs tels que l'amélioration de la structure du sol, le piégeage des nitrates, la protection des eaux... sont difficilement chiffrables.

Plusieurs cultures constituent des couverts végétaux permettent d'éviter que les sols restent nus pendant l'hiver à savoir : la moutarde, le radis, le colza, le seigle, l'avoine d'hiver, la phacélie... Dans notre cas, on a choisi le radis qui est très utilisé dans la région Midi-Pyrénées après la culture de la moutarde. Ces cultures peuvent engendrer des coûts allant jusqu'à 122€/ha mais aussi des primes de 121€/ha/an.

Pour prendre en compte l'interculture nous avons simulé à l'aide du modèle cropsyst, des assolements annuels couplant les principales cultures observées (blé tendre, blé dur et maïs) à la culture du radis et ce afin de déterminer leurs rendements et leurs niveaux d'érosion. Ensuite, nous les avons introduit dans le modèle économique sous forme de trois nouvelles cultures appelées « DWRA » pour le blé dur – radis, « SWRA » pour le blé tendre – radis et « MZRA » pour le maïs – radis.

L'agriculture conventionnelle se base sur un travail intensif des terres qui permet d'améliorer la structure du sol, réduire la présence des adventices et favorise le bon développement du système racinaire des plantes.

Le système conservateur se basant sur un travail minimal des terres réduit les performances agronomiques des sols et des plantes et favorise le développement des adventices. Ceci a des répercussions sur le niveau des rendements et des coûts de l'exploitation. Afin de réaliser des résultats proches de celle du système conventionnel, l'agriculteur doit investir pour acheter des variétés de semences plus performantes et plus résistantes à l'effet concurrentiel des adventices, en outre de l'augmentation des coûts de désherbage.

La simulation du système conservateur s'est effectuée également par Cropsyst en modifiant dans le modèle les paramètres relatifs à la nature du travail du sol (date et matériels). Nous avons donc pu constaté une réduction moyenne des rendements de 12% par rapport au système conventionnel. Nous avons ensuite validé cette observation grâce à une étude effectuée dans la région de Midi-Pyrénées entre 2001 et 2004 sur le travail du sol sans labour et qui a montré que les rendements en non labour sont généralement inférieurs à ceux en labour. L'observation détaillée des tableaux publiés dans cette étude concernant les rendements des cultures de maïs, tournesol et blé qui ont été testées, a révélé des variations entre 5% et 23% notamment pour le cas de tournesol et de maïs (17%) (Chambre d'agriculture du Midi-Pyrénées, 2006).

En ce qui concerne les coûts de production en système conservateur, malgré la baisse du nombre des passages favorisant une économie d'énergie et d'entretien, certaines autres dépenses nous restent inconnues notamment les dépenses d'achat d'herbicides et de matériels spécialisés (pour le semis direct par exemple). Pour cela, nous avons opté pour une augmentation de 20% des coûts du système conservateur par rapport au système conventionnel.

Le système de production (conservateur) a été inhibé pendant les premières phases de modélisation ensuite il est relâché au cours de la simulation de ce deuxième scénario.

3- Scénario 3 : écoconditionnalité associée aux mesures agrienvironnementales.

Ce scénario consiste à combiner l'écoconditionnalité et les mesures agrienvironnementales simulées dans les deux premiers scénarios et d'étudier leurs impacts cumulés.

Chapitre 3. Résultats et interprétation

Dans la première partie de l'analyse, nous présenterons les résultats de la situation de référence et dans la deuxième partie, nous discuterons les résultats des scénarios simulés en les comparant à ceux obtenus en situation de référence.

I- Analyse de la situation de référence

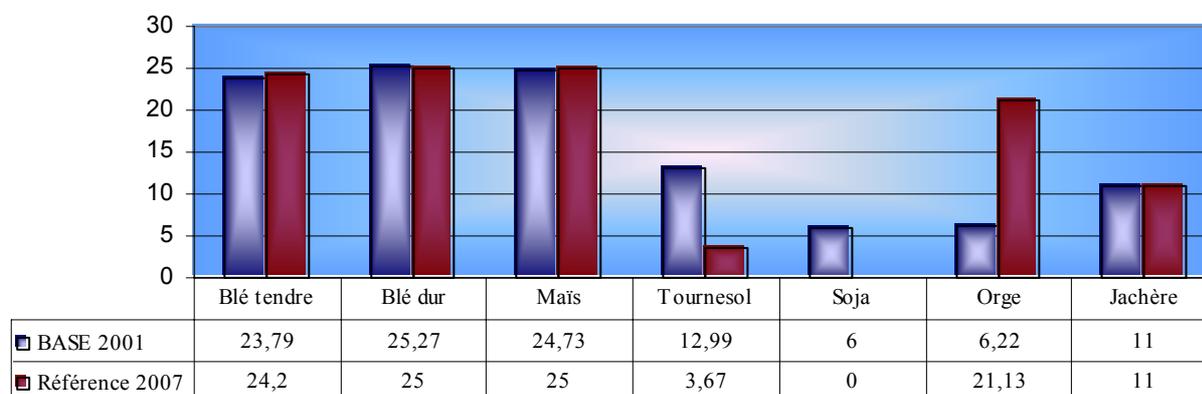
Les résultats de la situation de référence sont présentés par rapport aux résultats du modèle de base de manière à isoler les effets de la nouvelle réforme de la PAC. Toutefois, avant de présenter ces résultats, il faut rappeler qu'aucune évolution de prix ni de rendements n'a été introduite lors de l'utilisation du modèle entre les années 2001 (année de base) et 2007 (année de référence).

Les premiers résultats en termes d'assolement montrent qu'il y a une réallocation des superficies agricoles au profit de l'orge qui a pratiquement quadruplé sa superficie (passant de 6,22 ha à 21,13 ha). Ceci au détriment des superficies allouées au tournesol et au soja qui a totalement disparu de l'assolement.

Ceci peut s'expliquer par le fait que la marge brute (sans prime) de l'orge devient plus élevée que celles du tournesol et du soja. En effet, les primes à l'hectare avec le système de découplage sont identiques pour l'ensemble des cultures éligibles et par conséquent l'allocation des superficies dépendra fortement de la marge brute sans prime.

Le graphique 2 montre aussi le maintien de la même superficie pour le blé dur et le maïs expliqué par le fait que ces deux cultures bénéficient toujours des aides supplémentaires (primes spécifiques pour le blé dur et pour le maïs irrigué) qui ne sont pas intégrées dans le paiement unique favorisant ainsi leur maintien avec telles superficies.

Graphique 2: assolement de l'année de référence et l'année de base



Malgré la variation relativement faible au niveau de l'assolement, on remarque une baisse de revenu net de l'ordre de 5,27% et une baisse des coûts de l'ordre de 1 pourcent (Tableau 7). Cela est une conséquence de la réduction des aides PAC de 9,75% due principalement au découplage ainsi qu'au 3% de réduction départementale et à la modulation des aides de 5%, déjà prévue par la réforme 2003.

La solution optimale dégagée par le modèle de référence en terme de revenu est de l'ordre de 91367,42 € dont plus de tiers (40,72%) provient des aides PAC et notamment les aides du paiement unique (Tableau n°7). Cette baisse de revenu pourrait être beaucoup plus faible si nous avons inclus les projections des

prix obtenus dans plusieurs modèles européens et qui prévoient une augmentation des prix pour les cultures SCOP.

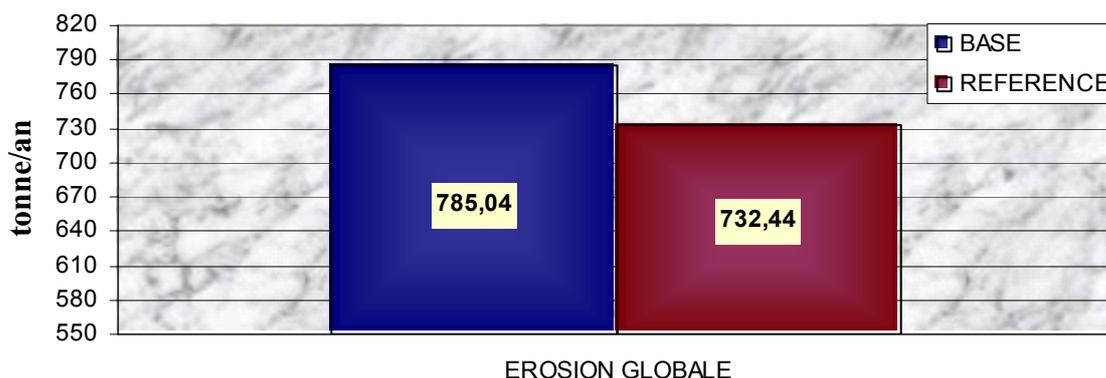
Tableau 7 : bilan de la situation de référence

	Base	Référence	
		Valeur (€)	Déviations par rapport à la base (%)
Coût total (€)	17645,72	17485	-0,91
Aides couplées (€)	41230,69	13202,55	.
DPU (€)	0	24008,51	.
Aides totales (€)	41230,69	37211,07	-9,75
Revenu Z (€)	96450,51	91367,42	-5,27

A cette baisse des résultats économiques s'associe une faible réduction des pertes en sols de 6,7%. Néanmoins, le niveau de l'érosion qui est s'élève à 732,44 tonnes reste très important.

Cette variation est expliquée en grande partie par la disparition de la culture du soja et la diminution du tournesol ayant un niveau d'externalité plus élevé que celui de l'orge qui a augmenté de superficie. (Graphique 3).

Graphique 3: niveau global d'érosion en situation de référence



II- Analyse des scénarios de politique

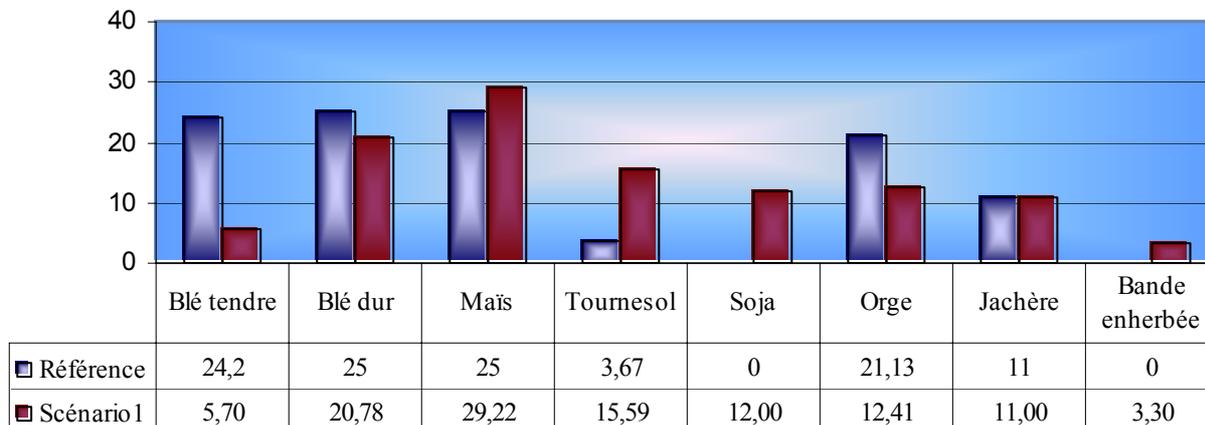
Les résultats des scénarios de politique sont présentés par rapport aux résultats du scénario de référence de manière à isoler les effets des chocs exogènes de tout autre effet.

1- Résultats du premier scénario

Les premiers résultats du modèle montrent que l'éco-conditionnalité environnementale imposée par la PAC est bien respectée vu qu'une superficie de 3,3 ha (3% de la superficie totale) en bande enherbée est apparue dans l'assolement. Ceci renseigne que la pénalité en terme de réduction des aides européennes d'un taux de 5% est incitative au respect de la conditionnalité. L'implantation de la bande enherbée a induit aussi un changement dans le plan de production se manifestant par une diminution importante de la superficie du blé tendre qui a passée de 24,04 ha à presque 6 ha et une réduction moins faible de celle de l'orge et de blé dur. Cependant, la superficie du maïs a augmenté, associée à une augmentation importante du tournesol et une réapparition de la culture du soja avec une superficie de 12 ha (graphique 4). Par ailleurs, la superficie irrigable en sol 1 (12 ha) est totalement utilisée alors que celle du sol 2 reste non valorisée (0 ha).

En absence d'aide supplémentaire (alignement des primes) pour les oléagineux, on a remarqué dans le modèle de référence que la superficie allouée à ce type de culture a diminué et a presque disparu. Avec la réduction de la superficie totale suite à l'introduction des bandes enherbées, les marges brutes des cultures de soja et de tournesol deviennent plus intéressantes que celles de l'orge et du blé tendre ce qui a fait basculer le modèle vers un assolement qui réduit les coûts de production sans trop affecter le profit, expliquant en quelque sorte l'augmentation des superficies des oléagineux aux détriment des céréales.

Graphique4: assolement de la simulation du scénario 1



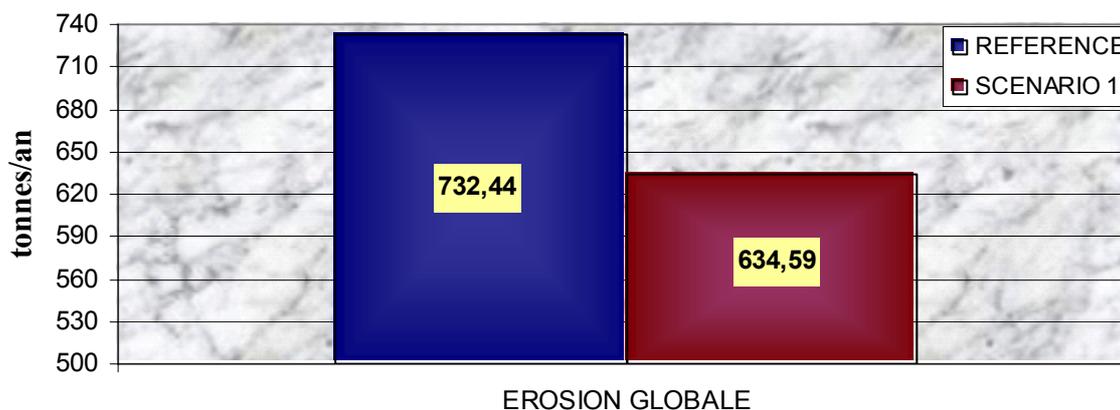
En termes économiques, les résultats obtenus dans ce scénario sont proches de ceux du modèle de référence (tableau 8). Les variations sont minimales pour l'ensemble des variables sélectionnées dans le tableau ci-dessous, exceptées pour les aides couplées où une baisse de 7,68% est enregistrée. Le revenu net marque une légère baisse de 2,09% presque égale à celle des aides totales, il reste cependant à un niveau satisfaisant grâce à une meilleure allocation des superficies et une légère extensification des systèmes (terres irrigables en sol 2 ne sont pas utilisées). Cette légère variation peut s'expliquer également par la baisse des superficies de blé dur qui bénéficie d'une prime supplémentaire.

Tableau 8: résultats économiques du scénario 1

	Référence	Scénario 1	
		Valeur (€)	Déviaton par rapport à la référence (%)
Coût total (€)	17485	17425,75	-0,34
Aides couplées (€)	13202,55	12188,94	-7,68
DPU (€)	24008,51	24008,51	.
Aides totales (€)	37211,07	36197,45	-2,72
Revenu Z (€)	91367,42	89453,79	-2,09

En termes d'érosion, l'introduction de bandes enherbées a permis d'améliorer le niveau de perte en terres. En effet, le niveau d'érosion est passé de 732,44 tonnes à 634,59 tonnes, soit une baisse de 97,85 tonnes (soit 13,31%) (Graphique 5). Cette baisse montre, d'une part, que l'implantation des bandes enherbées permet de lutter contre l'érosion, cependant son impact reste moyen, d'où la nécessité de le compléter par d'autres mesures agrienvironnementales, objet du deuxième scénario. D'autre part, le volume de réduction de l'érosion ne reflète pas l'efficacité à long terme des bandes enherbées. En effet, le modèle statique utilisé ne permet pas de donner des résultats de moyen et long terme, tel est le cas d'un modèle dynamique récursif.

Graphique 5: niveau d'érosion de la simulation du scénario 1



2- Résultats du second scénario

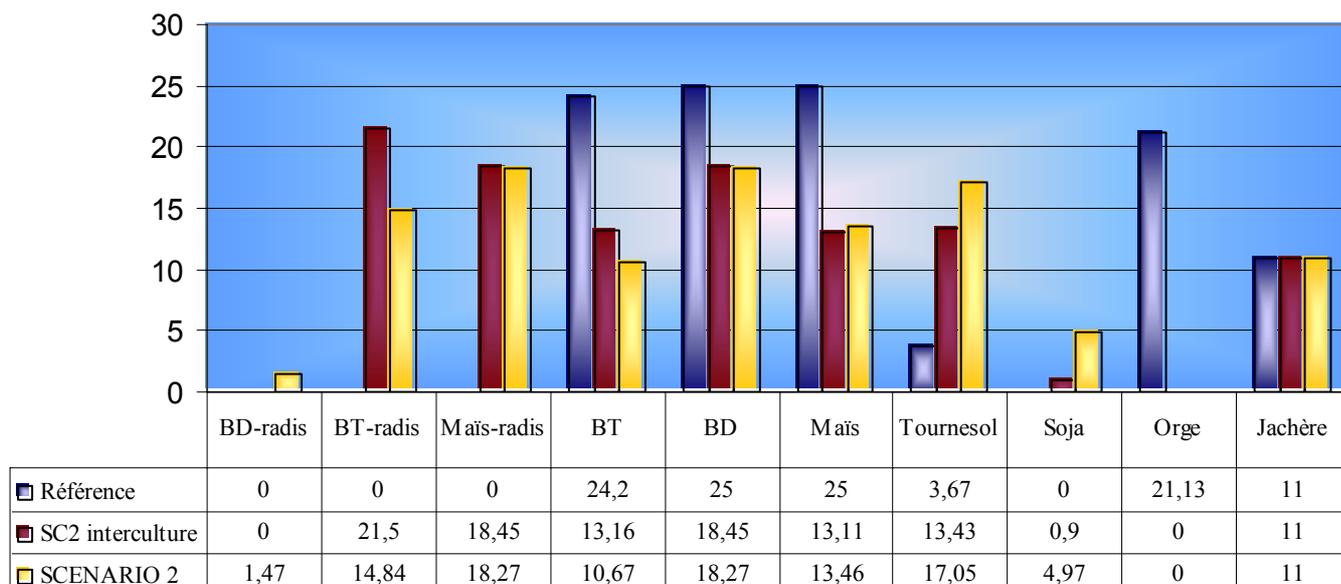
La simulation de ce scénario s'est faite en deux étapes. Dans la première étape (SC2), nous avons introduit la culture intercalaire, le radis, tout en relâchant la contrainte inhibitrice de système de production conservateur. Les résultats obtenus montrent que le modèle a pris en considération uniquement la culture intercalaire. Le système conservateur est resté ignoré, c'est-à-dire toutes les cultures sélectionnées sont conduites en système conventionnel. Ceci est dû à la faible rentabilité de ce système en raison de la forte augmentation des coûts et la diminution des rendements généralement associée à ce système (en comparaison au système conventionnel). Dans la deuxième étape et afin que le modèle puisse prendre en considération ce système, nous lui avons affecté dans un premier temps une prime, ensuite nous avons effectué des simulations afin de déterminer à partir de quel montant de la prime le modèle choisira le système conservateur.

Les résultats de la deuxième étape ont révélé qu'une prime de 190€ par culture et par hectare est nécessaire pour que le système conservateur soit plus rentable que le système conventionnel et par conséquent il est choisi par le modèle.

Le graphique 6 et le tableau 9 retracent les principales variations en terme technico-économique entre la référence, la première et la deuxième étape du scénario 2. En effet, dans ce scénario, l'assolement change considérablement par rapport à celui de l'année de référence. On remarque alors l'entrée des activités ayant en succession le radis à savoir le blé tendre-radis, le blé dur-radis et le maïs-radis avec une légère baisse des superficies du blé dur (sans succession culturale). En outre, une augmentation est observée au niveau des superficies allouées au maïs et tournesol avec la disparition de l'orge et la réapparition de la culture de soja à hauteur de 5 ha. Le modèle respecte toujours la contrainte jachère dont sa superficie reste inchangée.

Dans ce scénario, les coûts de productions ont beaucoup augmenté ce qui a orienté le modèle vers le choix des cultures les moins coûteuses (le tournesol et le soja) au détriment de l'orge. Les autres céréales ont gardé plus ou moins leurs superficies grâce aux aides supplémentaires qu'ils reçoivent.

Graphique 6 : assolements de la simulation du scénario 2



Le changement d'assolement a eu des effets importants sur le plan économique de l'exploitation, en effet le coût total a augmenté de 9,14% avec l'entrée de la culture intercalaire (première étape) et a atteint les 30,77% avec le changement du système de production (deuxième étape). La plus importante variation est observée au niveau du revenu net qui a atteint 110288,91€ soit une augmentation de 20,71% expliquée en grande partie par les primes reçues en respectant les mesures agrienvironnementales. Les aides constituent alors plus de la moitié du revenu net dégagé.

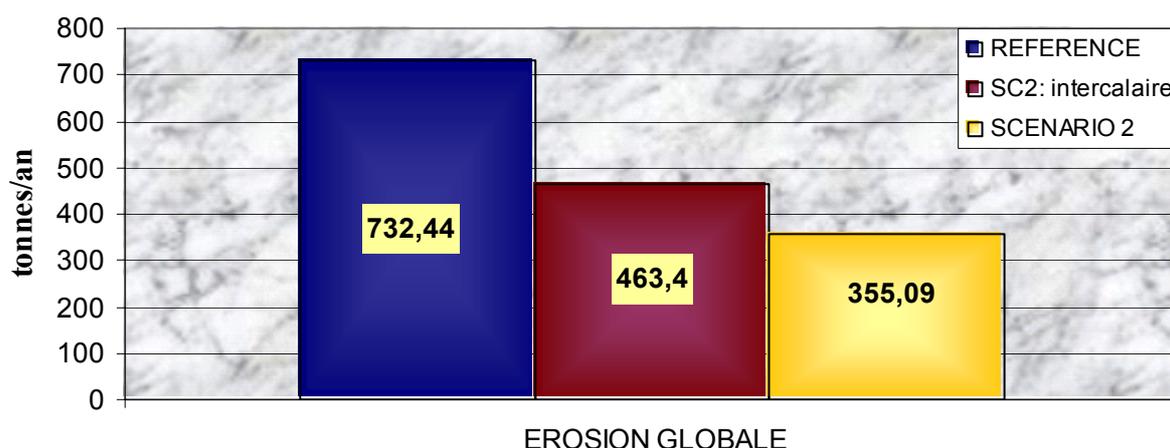
Tableau 9: résultats économiques du scénario 2

	Référence	Scénario 2: intercalaire		Scénario 2 : intercalaire + sys "cons"	
		Valeur (€)	Déviati on / référence (%)	Valeur (€)	Déviati on / référence (%)
Coût total (€)	17485	19083,06	9,14	22864,56	30,77
Aides couplées (€)	13202,55	11629,9	-11,91	11587,53	-12,23
DPU (€)	24008,51	24008,51	0,00	24008,51	0,00
Prime (€)	0	4873,37	.	25188,78	.
Aides totales (€)	37211,07	40511,79	8,87	60714,82	63,16
Revenu Z (€)	91367,42	97211,52	6,40	110288,91	20,71

Ces résultats économiques satisfaisants s'associent à une baisse importante de l'érosion qui passe de 732,44 t/ha à 463,41 t/ha avec l'introduction des cultures intercalaires et à 355,09 tonnes dans le cas de changement du système de production, soit une baisse respective de 36,73 % et 51,52%.

Ceci met en évidence l'effet de ces mesures sur l'érosion.

Graphique 7: niveau d'érosion de la simulation du scénario 2



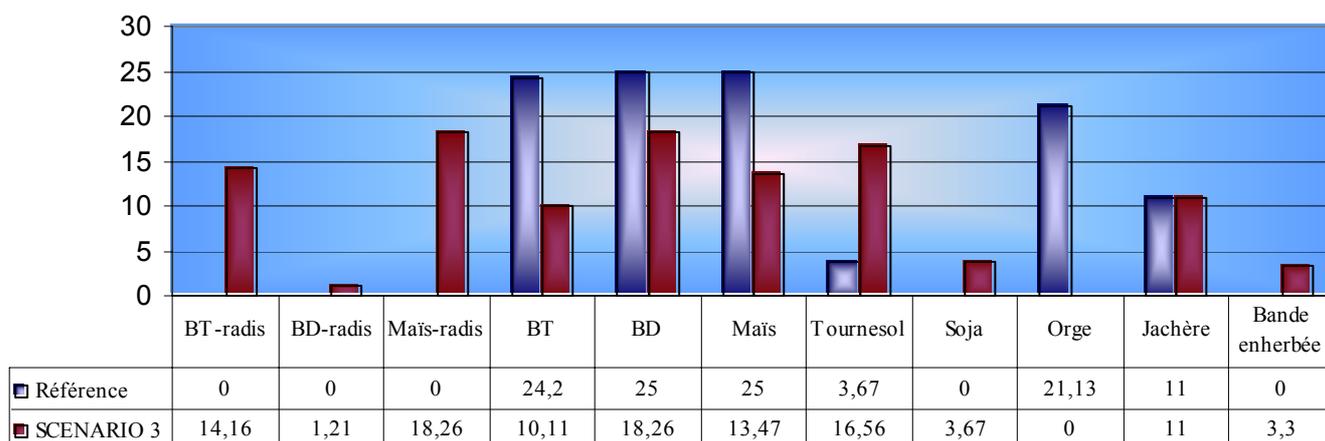
3- Résultats du troisième scénario

Dans ce scénario, il s'agit d'étudier l'impact de la combinaison de la conditionnalité des aides à la mise en place d'une bande enherbée aux mesures agrienvironnementales relatifs à l'implantation d'une culture intercalaire avec un travail de sol minimal.

Les résultats relatifs à ce scénario montrent un changement important au niveau de l'assolement marqué essentiellement par la disparition de la culture de l'orge et l'apparition du soja avec près de 4ha, la réduction de la superficie du blé dur et ce au profit des autres cultures ayant une plus forte marge brute. La culture intercalaire marque son entrée avec une superficie totale de 33,63ha répartie principalement après le maïs et le blé tendre alors que celle semée après le blé dur reste faible (1,21 ha). (Graphique 8).

La mise en place de la bande enherbée a été respectée dans ce scénario renseignant que la pénalité en terme de réduction des aides européennes d'un taux de 5% est incitative au respect de la réglementation.

Graphique 8: assolement de la simulation du scénario 3



En termes économiques, les changements observés ont une tendance semblable à celle du scénario 2 ; en effet, les coûts de production enregistrent une augmentation de 23,11%. Le revenu net est de l'ordre de 109545€, soit une augmentation de près de 20% provenant essentiellement des primes allouées au respect des mesures agrienvironnementales (tableau 10).

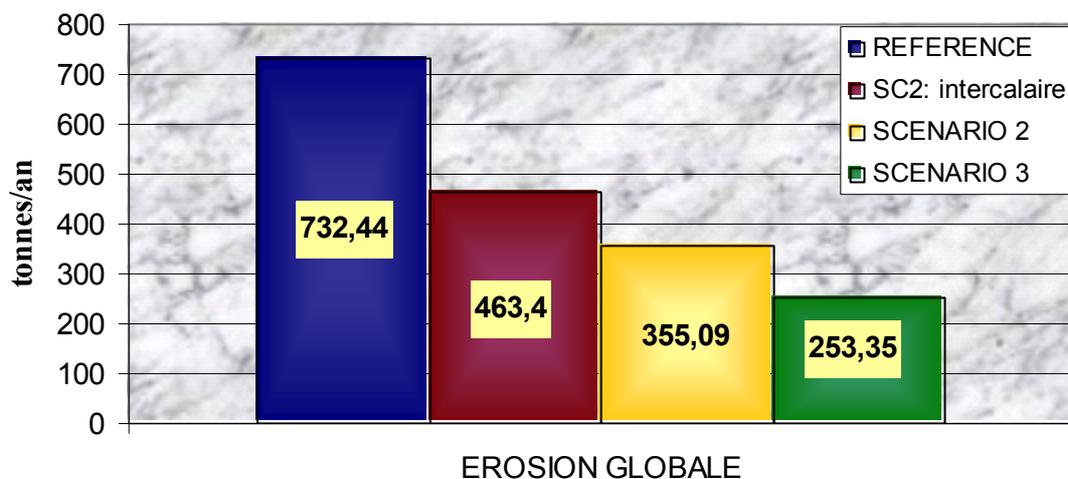
Ces résultats paraissent tout à fait logiques avec le principe de la réglementation de la PAC et montrent que le conditionnement des aides aux respects des bonnes pratiques agricoles et environnementales peut inciter les agriculteurs à les adopter.

Tableau 10: Résultats économiques du scénario 3

	Référence	Scénario 3	
		Valeur (€)	Déviations par rapport à la référence (%)
Coût total (€)	17485	21526,07	23,11
Aides couplées (€)	13202,55	11586,08	-12,24
DPU (€)	24008,51	24008,51	0,00
Prime (€)	0	24968,96	0,00
Aides totales (€)	37211,07	60563,55	62,76
Revenu Z (€)	91367,42	109541,44	19,89

Pour ce qui est de l'externalité environnementale, les effets de l'écoconditionnalité et des mesures agrienvironnementales sont plus prononcés que prévues ; en effet, l'observation du graphique n° 9 montre une perte en sol de 253,35 tonnes soit une réduction de 65,41% par rapport à la référence et 45,33% par rapport au premier scénario. Cette valeur nous paraît très optimiste et difficile à réaliser, cependant elle met en évidence l'effet des mesures d'entretien minimal des terres sur l'érosion ainsi que l'importance des aides qui doivent les accompagner.

Graphique 9: niveau d'érosion de la simulation du scénario 3



Les simulations réalisées dans ce travail entrent dans le cadre d'une analyse ex-post qui permet d'évaluer l'efficacité des politiques publiques déjà mises en œuvre, de les comparer entre elles et de les amender au cours du temps. Ces résultats ne peuvent être considérés comme des projections ou des prévisions mais comme des indications de tendances suscitées par les chocs exogènes.

Conclusion

L'introduction du découplage des aides a entraîné une faible baisse de revenu malgré l'application de la modulation des aides à raison de 5% et ceci en raison d'une meilleure réallocation de la superficie pour les cultures les plus compétitives sans prime. Cette baisse pourrait être beaucoup plus faible si nous avons inclus les projections des prix obtenus dans plusieurs modèles européens et qui prévoient une augmentation des prix pour les cultures SCOP. En terme d'érosion, nous avons constaté une légère baisse par rapport à la situation de base expliquée en partie par la diminution de la superficie du soja, associée généralement à un niveau élevé d'érosion. Lorsqu'on a ajouté la conditionnalité des aides à l'implémentation des bandes enherbées et les mesures agrienvironnementales de lutte contre l'érosion (scénarios 1, 2 et 3), on a observé en revanche une amélioration de la situation environnementale grâce notamment à l'introduction des cultures intercalaires et du labour minimal des terres (système de conservation). Cette amélioration s'est accompagnée, néanmoins, d'une baisse de revenu de l'ordre de 2 % dans le cas de conditionnalité des aides à l'implantation des bandes enherbées et d'une forte augmentation dans le cas des mesures d'entretien minimal des terres. Cette dernière est expliquée par les primes allouées aux cultures intercalaires.

Les mesures préconisées par la réforme de 2003 afin de lutter contre l'érosion semblent avoir un effet positif sur les pertes en terres ; en effet, on a observé une réduction de l'érosion de l'ordre de 13,35% (scénario 1). Cette réduction est très intéressante notamment à l'échelle d'une année, et pourrait être beaucoup plus importante à long terme, d'où l'intérêt d'étudier leurs impacts cumulés à long terme.

Bien que ces résultats nous semblent significatifs de grandes tendances d'évolution, ils doivent être interprétés avec prudence par un examen précis des choix effectués par les modèles. Cependant, la signification des résultats nous renseigne sur la pertinence et l'adaptabilité de notre méthodologie à l'analyse des politiques agrienvironnementales.

Conclusion générale

L'érosion du sol en France est une réalité, dont la gravité peut être accentuée par plusieurs paramètres physiques tels que le relief combiné à certaines pratiques et techniques agricoles à savoir le travail et l'occupation du sol. Ce problème a une incidence économique importante sur les terres agricoles affectées mais aussi sur les infrastructures publiques.

Cependant, il a fallu attendre la nouvelle réforme de la PAC pour que l'Union Européenne introduise dans sa législation certaines pratiques agricoles visant l'atténuation du phénomène de l'érosion et conditionnant l'octroi des aides publiques.

La présente étude a analysé, d'une part, les rapports entre les décisions de production (choix des rotations, choix des techniques de production, etc.) et le phénomène d'érosion et d'autre part, les impacts de certaines mesures agrienvironnementales, principalement « l'implantation des bandes enherbées » et « l'entretien minimal des terres », sur le contrôle de ce phénomène et sur les performances économiques de l'exploitation agricole.

Pour atteindre cet objectif, un modèle bioéconomique couplant un modèle agronomique et un modèle économique a été utilisé. Pour simplifier l'analyse, l'application de ce modèle en est faite au niveau d'une exploitation de grandes cultures de la région de Lauragais (sud-ouest de la France) fortement touchée par ce phénomène. Le modèle économique employé se base sur la programmation mathématique qui consiste à optimiser un ou plusieurs objectifs sous des contraintes de natures techniques, agronomiques, économiques et politiques. Les coefficients technico-économiques utilisés dans le modèle proviennent de différentes sources. Les données économiques (prix, coûts...) proviennent de la base de données de la Chambre d'Agriculture du Midi-Pyrénées. Celles des rendements et des valeurs d'érosion sont générées par le modèle biophysique Cropsyst en fonction de la culture, sol, technique et système.

Pour cela, trois scénarios ont été analysés : le premier scénario conditionne l'obtention des aides à l'implantation des bandes enherbées, le second conditionne l'octroi des primes supplémentaires à l'introduction d'une culture intercalaire et à l'adoption des techniques d'entretien minimal des terres et le troisième scénario regroupe les deux types de réglementation. Ces trois scénarios ont été comparés à un scénario de référence qui intègre le découplage des aides selon la réforme de la PAC de juin 2003.

Les résultats obtenus montrent que l'implantation d'une bande enherbée induit une baisse de revenu de l'ordre de 2% (comparée à la situation de référence) et permet en revanche de réduire l'érosion de l'ordre de 13,35%. L'introduction de la technique d'entretien minimal des terres associée à la bande enherbée a permis d'améliorer jusqu'à 65,4% cette réduction, néanmoins il faut une allocation d'une prime supplémentaire d'un montant de 190€ par culture et par hectare, pour que l'agriculteur change d'un système de production conventionnel vers un système conservateur. En revanche, la réduction de 5% prévue par la PAC en 2007 suffit pour l'implantation de bandes enherbées.

L'impact des bandes enherbées en termes de réduction d'érosion peut paraître moyen à court terme mais son effet cumulatif peut améliorer l'efficacité environnementale à long terme. D'autre part, la réduction d'érosion due au changement de système de production paraît très optimiste et difficile à réaliser. En revanche, l'association des bandes enherbées et des cultures intercalaires paraît comme une solution adéquate et réaliste capable d'assurer l'objectif environnemental sans affecter considérablement le revenu de l'agriculteur.

On note que les conditions d'optimalité que suppose le travail de modélisation explique bien la grande efficacité des mesures agrienvironnementales simulées, cependant leur application se confronte à des contraintes plus réelles tel que le retard de la date de semis à cause des mauvaises conditions climatiques pouvant réduire l'efficacité de ces mesures.

D'autres études futures utilisant des modèles dynamiques peuvent être envisagées pour mieux évaluer l'impact à long terme des bonnes pratiques agricoles et environnementales. On peut éventuellement envisager une étude comparative de ces mesures avec celles pratiquées dans des pays ayant plus de tradition dans ce domaine tel que les Etats-Unis qui se sont avérées très efficaces.

De plus, ce travail peut être étendu à l'échelle régionale ou d'un bassin versant tout en intégrant des scénarii d'évolution de marché (variation des prix, inflation...). En effet, le modèle utilisé dans ce travail est un modèle qui représente l'offre des activités végétales d'une seule exploitation. Il est dépourvu de la composante demande et fonctionne avec les mêmes prix que ceux de l'année de base. Les résultats tirés de ce modèle ne peuvent donc pas refléter la réalité d'une région, ils ne reflètent que des choix rationnels dans un contexte d'information parfaite à niveau micro-économique d'une exploitation individuelle. En outre, les résultats dégagés ne sont valables que pour l'année d'étude et ce sont les résultats de long terme qui ne sont pas observés puisque plusieurs paramètres économiques tels que l'évolution des prix et leur volatilité sur le marché européen n'ont pas été introduits.

On signale que les résultats obtenus par le modèle doivent être interprétés avec prudence par un examen précis des choix effectués par les modèles ; en revanche, ces derniers ont montré que le couplage des modèles agronomiques et économiques est une méthode pertinente pour l'analyse des politiques publiques.

Ce travail a permis de mettre en évidence la complexité de l'intégration du problème de l'érosion dans la sphère des théories économiques et il a représenté un exercice très utile pour la construction et la maîtrise des outils de modélisation.

Références bibliographiques

1. **Abbes, K. (2005)**. Analyse de la relation agriculture - environnement : une approche bioéconomique, cas de la salinisation des sols et de la pollution par les nitrates au nord Tunisien. Thèse de Doctorat : Université Montpellier I. 305 p.
2. **AEE (Agence européenne pour l'environnement). (1998)**. *Europe's environment : The second Assessment*. Oxford : Elsevier Science. Chapitre 11 : Dégradation du sol, p.231-246, Chapitre 2 : Changement du climat, p. 37-59.
3. **AEE (Agence européenne pour l'environnement). (2002)**. *Dégradation du sol et développement durable en Europe : ayons les pieds sur terre, un défi pour le XXI siècle [en ligne]*. (Série sur les problèmes environnementaux ; n° 16). 31 p. [Consulté en octobre 2007]. http://reports.eea.europa.eu/Environmental_issue_series_16/fr/French%20soil%20for%20the%20www.pdf
4. **Auzet, A.V, Guerrini, M.C, Muxart, T. (1992)**. L'agriculture et l'érosion des sols: importance en France de l'érosion due aux pratiques agricoles. *Economie rurale*, Mars-Juin, n° 208-209, p; 105-109.
5. **Barbier, B., Bergeron, G. (1999)**. Impact of policy interventions on land management in Honduras: results of a bioeconomic model. *Agricultural Systems*, vol. 60, p. 1-16.
6. **Barde, J.Ph. (1991)**. *Economie et politique de l'environnement*. Paris : l'Economiste. 383 p.
7. **Barthes, B., De novi, G., Guillerm, C., Roose, E., (1997)**. Pratiques culturales et érosion hydrique dans les rougiers de Camarès (Aveyron, France). *Réseau érosion, bulletin* (ORSTOM), n° 17 : "Erosion en montagnes semi-arides et méditerranéennes", p. 145-151.
8. **Baumgärtner, S., et al. (2001)**. The concept of joint production and ecological economics. *Ecological economics*. n°36, p. 365-372.
9. **Bissonnais, Y., et al. (2002)**. *L'érosion hydrique des sols en France [en ligne]*. Orléans : IFEN-INRA, rapport 2002. [Consulté en mars 2007]. [http://erosion.orleans.inra.fr/rapport\(2002\)/](http://erosion.orleans.inra.fr/rapport(2002)/)
10. **Bochu, J. L., Pointereau, P., Ravier, S., Doublet, S. (2004)**. Vers une meilleure prise en compte de l'environnement en grandes cultures en Midi-Pyrénées. *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, n°51, février, p. 19-30.
11. **Boisson, J. M. (1984)**. Formation et signification du prix de l'eau. *Revue d'Économie Méridionale*, n. 125-126, p. 43-52.
12. **Boisson, J. M. (2004)**. Etat politique et choix publics. Notes de cours, Etat choix publics et sécurité alimentaire, octobre 2004. Document disponible au CIHEAM-IAM (Montpellier).
13. **Boussard, J.M. (1970)**. *Programmation mathématique et théorie de la production*. Paris : Cujas, 251p.
14. **Boussard, J.M. (1987)**. *Economie de l'agriculture*. Paris : Economica. 320 p.
15. **Boussard, J.M., Boussemart J.P., Flichman G., Jacquet F., Lefer H.B. (1994)**. Analyse des impacts socio-économiques de différentes politiques agricoles dans certaines régions françaises, compétitivité et protection de l'environnement, n°92 G 0364. Rapport intermédiaire « programme agriculture demain » 115p. Document disponible à CIHEAM- IAM Montpellier.

Ghali M.A. – «Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de l'écoconditionnalité et des mesures agrienvironnementales de lutte contre l'érosion - Cas du Lauragais - »

16. **Bortzmeyer, M. (1992).** Impact de la réforme de la politique agricole commune sur les exploitations bovines de la zone charolaise. Mémoire de DEA, Université de Bourgogne, 95 p.
17. **Buchanan, J.M, Stubblebine, W.C. (1962).** Externality. *Economica*, n. 29, novembre, p. 371-384.
18. **Carmona, G., Le Grusse, Ph., Le Bars, M., Belhouchette, H., Attonaty, J.M. (2005).** Construction participative d'un modèle d'aide à la gestion collective de la ressource en eau : Application au cas du Bassin Aveyron-Lère [en ligne]. Communication pour le Symposium international "Territoires et enjeux du développement régional" Lyon, 9-11 mars 2005. 16 p. [Consulté en octobre 2007]. www.inra.fr/rhone-alpes/symposium/pdf/session5-2_2.pdf
19. **Carpy-Goulard, F. (2001).** Analyse des relations agriculture-environnement par couplage d'un modèle économique a des indicateurs environnementaux : application au secteur des grandes cultures de la région Midi-Pyrénées. Thèse de Doctorat : Université Montpellier I. 324 p.
20. **Chambre d'agriculture (Manche). (2005).** La PAC : Arrêtés préfectoraux. PAC : Jachère et Conditionnalité.
21. **Chambre d'agriculture (Midi-Pyrénées). (2006).** Travail du sol sans labour. Bilan des suivis 2001-2004 en Midi-Pyrénées [en ligne]: Synthèse technique. 24 p. [Consulté en octob 2007]. <http://www.midipyrenees.chambagri.fr/Travail-du-sol-sans-labour-bilan.html>
22. **Charte du pays Lauragais. (2002).** Un projet de développement durable fondé sur la qualité de la vie [en ligne]. Association du pays Lauragais, 27 p. [consulté en octobre 2007]. <http://www.payslauragais.com/online/chapitre%201.pdf>
23. **Criqui, P. (2005).** L'urgence des politiques climatiques. [en ligne]. *Sciences Humaines*, H.S. « Sauver la Planète », juillet-août 2005.
24. **Crosson, P. (2003).** The economics of soil erosion and maintaining soil biodiversity [en ligne]. Paper for OECD Conference, Rome, 24-28 mars 2003, 17 p. [Consulté en octobre 2007]. [http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf/viewHtml/index/\\$FILE/CrossonforOECDRomeMar.PDF](http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf/viewHtml/index/$FILE/CrossonforOECDRomeMar.PDF)
25. **Costanza, R. (1991).** Assuring sustainability of ecological systems. In *Ecological economics: the science and management of sustainability*. New York : Columbia university Press. p. 331-343.
26. **Commission européenne (2002).** Stratégie pour la protection des sols [en ligne]. 2 p. [Consulté en octobre 2007]. <http://europa.eu/scadplus/leg/fr/lvb/l28122.htm>
27. **Commission européenne. Commission de l'environnement, de la santé publique et de la politique des consommateurs. (2003) .** Vers une stratégie thématique pour la protection des sols [en ligne]. Juin 2003, 12 p. [Consulté en octobre 2007]. http://europa.eu.int/comm/environment/soil/pdf/pubhealthreport_fr.pdf
28. **De Frahan, B., Elouhichi,K., Harmignie,O. Polomé,P., Van Huylenbroeck, G., Buysse,J., Lauwers, L., Fermagut, B. (2004).** La Politique Agricole Commune. *Regard économique*, février, n. 19, 20 p.
29. **Deybe, D. (1994).** Vers une agriculture durable : Un modèle bio-économique. Paris : CIRAD-GERDAT. 193 p.

30. **Donaldson A.B., Flichman G., Webster J.P. (1995).** Integrating agronomic and economic models for policy analysis at the farm level: the impact of CAP reform in two European regions. *Agricultural Systems*, vol. 48, p. 163-178.
31. **Dubucq, M. (1989)** .Identification et cartographie par télédétection des sols érodés : application au Lauragais toulousain (Sud-Ouest France). Thèse Doc. Univ. Paul-Sabatier Toulouse, 247 p + annexes.
32. **ECAF (European Conservation Agriculture Federation), [2005].** Agriculture durable et conservation des sols [en ligne]. 21 p. [Consulté en 2007]. <http://www.ecaf.org/frances/First.html>
33. **ECAF (European Conservation Agriculture Federation), [2005].** Agriculture durable, avantages économiques [en ligne]. [Consulté en octobre 2007]. <http://www.ecaf.org/frances/Economic.htm>
34. **Elyakime, B. (2000).** L'érosion des terres agricoles et sa gestion préventive : un cadre d'action collective et interactive. *Région et Développement*, n. 12, p. 105-121.
35. **ENSEEIHT (Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications). (2003).** Efficacité des mesures de lutte contre l'érosion et le ruissellement dans le bassin versant de l'Aïse.[en ligne]. Mars (2003), [Consulté en avril (2005)]. <http://www.enseiht.fr/hmf/travaux/CD0203/travaux/optsee/bei/2/projet/index.html>
36. **Faucheux, S., Noël, JN.(1995).** *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*. Paris : Armand Colin. 370 p.
37. **FAO. Département du développement durable (2001).** *L'économie de la productivité des sols en Afrique subsaharienne [en ligne]*. Chapitre 3 : nouvelles approches et extension dans l'économie de la productivité des sols. 13 p. [consulté en octobre 2007]. <http://www.fao.org/DOCREP/003/X8827F/X8827f05.htm>
38. **Flichman, G., Jacquet F. (2003).** Le couplage des modèles agronomiques et économiques : intérêt pour l'analyse des politiques. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, n. 67, p. 52-69.
39. **Flichman, G., Louhichi, K. (2005).** La programmation mathématique positive (PMP) : approche standard. Note de cours : février 2005. Document disponible au CIHEAM-IAM Montpellier.
40. **Flichman, G., Louhichi, K. (2006).** Calibrage et validation des modèles de programmation mathématique (MPM) : la programmation mathématique positive (PMP), approche standard. Notes du cours : Modèles quantitatifs pour l'analyse des politiques, Février 2006.
41. **France. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales (MAAPAR). Conseil supérieur d'orientation et de coordination de l'économie agricole et alimentaire (2004).** La conditionnalité des aides et le système de conseil agricole Mesures de l'annexe IV (Bonnes conditions agricoles et environnementales - BCAE) [en ligne]. 4 p. [Consulté en octobre 2007]. http://agriculture.maapar1.agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/040518_annexe_bcae_annexe_iv.pdf
42. **France. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales (MAAPAR)..(2005).** La nouvelle politique agricole commune (PAC), conditionnalité 2005. [en ligne]. 24 p. [consulté en octobre 2007]. [http://www.gds38.asso.fr/web/gds.nsf/0/2fe99840b8a71e3cc1256f6c0062d95d/\\$FILE/PAC\(2005\)_livret_no2.pdf](http://www.gds38.asso.fr/web/gds.nsf/0/2fe99840b8a71e3cc1256f6c0062d95d/$FILE/PAC(2005)_livret_no2.pdf)

43. **Gallien, E., Le Bissonnais, Y., Eimberck, M., Benkhadra, H., Ligneau, L., Ouvry, J. F., Martin P., (1995).** Influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et l'érosion diffuse en sol limoneux cultivé. *Cahiers Agricultures*, vol. 4, p. 171- 183.
44. **Ghali, M.A. (2006).** Analyse bioéconomique de l'impact des mesures agrienvironnementales de lutte contre l'érosion : application à une exploitation de grandes cultures à Lauragais. mémoire de masterII, Université Montpellier I et SupAgro Montpellier, 110 p.
45. **Girardin, P., Hanson, M., Bockstaller, C. (1997).** Mise au point et validation d'indices agro-écologiques pour le diagnostic des exploitations de grande culture s'orientant vers la Production Intégrée. Colmar : ITADA. 16 p.
46. **Girardin, P., Bockstaller, C., Van Der Werf, H. (1999).** Indicators : tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of sustainable Agriculture*, n. 13-4, p. 5-21.
47. **Grimm, M., Robert J. A., Montanarella, L. (2000).** Soil Erosion Risk in Europe. European Soil Bureau, Institute for Environment and Sustainability, JRC, Ispra, Italy, EUR 19939 EN. 44 p.
48. **Guillerm, C. (1994).** Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès. Propositions de pratiques anti-érosives. Mémoire de fin d'étude de l'ITIA (Institut des Techniques de l'Ingénieur pour l'Agriculture), 51 p.
49. **Hanley, N., Spash, C.L. (1993).** *Cost-benefit analysis and the environment*. Cheltenham (UK) : Edward Elgar Publishing
50. **IEW (Inter Environnement Wallonie) (2004).** Ecoconditionnalité : propositions d'inter-Environnement Wallonie [en ligne]. 15 p. [Consulté en octobre 2007]. www.iewonline.be
51. **IFEN (Institut Français de l'environnement). (1998).** *Cartographie de l'aléa "érosion des sols" en France [en ligne]*. (Etudes et travaux ; n. 18). 77 p. [Consulté en octobre 2007]. http://www.ifen.fr/uploads/media/erosion_sols_1998.pdf
52. **Kugler, J. (1999).** *Examen des mesures agri-environnementales et de l'éco-conditionnalité des aides de la politique agricole américaine. Modalités pratiques de mise en œuvre, efficacité environnementale et conséquences économiques [en ligne]*. 53 p. [Consulté en octobre 2007]. http://agroalimentaire.free.fr/texte_du_rapport_de_jean_kugler.htm
53. **Le Bissonnais Y., Benkhadra H., Chaplot V., Gallien E., Eimberck M., Fox D., Martin P., Ligneau L., J. Ouvry F., (1996) -** Genèse du ruissellement et de l'érosion diffuse des sols limoneux : analyse du transfert d'échelle du m² au versant. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 3, p. 51-64.
54. **Louhichi, K. (1997).** Utilisation d'un modèle bioéconomique pour analyser l'impact des politiques Agri environnementales : cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie « application à la ferme Sawaf ». Thèse de master : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. 203 p. Document disponible au CIHEAM-IAM (Montpellier).
55. **Louhichi, K. (2001).** Essai de modélisation bio-économique de la relation agriculture-environnement : le cas de l'érosion en Tunisie. Thèse de Doctorat de la faculté des sciences économiques : Université Montpellier I. 252 p.

56. **Louhichi, K. (2002).** Application d'un modèle économique dynamique à l'analyse prospective des systèmes d'élevage laitiers à la Réunion. Rapport postdoctoral CIRAD, 112 p.
57. **Louhichi, K., Flichman G., Boisson J.M. (2005).** La modélisation bioéconomique : apport à l'analyse des interactions agriculture environnement. Document de travail. CIHEAM-IAMM, Montpellier.
58. **Louhichi, K., Flichman G., Boisson J.M., (2005).** La pensée économique face à la problématique de relation agriculture environnement : quelles issues ? Document de travail. CIHEAM-IAMM, Montpellier.
59. **Louhichi, K., Flichman G., Boisson J.M. (2006).** Non convex agricultural externalities : implication on conventional policies. Document de travail. CIHEAM-IAMM, Montpellier.
60. **Louhichi, K., Janssen, S., Li. H., Zander, P. (2006)(b).**- A first version of FSSIM for the arable farming sector to be used within prototype 1 of SEAMLESS-IF D3.3.6, SEAMLESS integrated project, EU 6th Framework programme.
61. **Ludwig, B., (1992).** L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du nord du Bassin parisien: analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire. Thèse de doctorat, université de Strasbourg I, 201 p.
62. **Mabit, L. Marc, R. L., Bernard, C. (2002).** L'érosion hydrique : méthodes et études de cas dans le nord de la France *[en ligne]*. Cahiers d'études et de recherches francophones/Agriculture, Mai -juin (2002), Vol 11, n° 3, p 195-206. [Consulté en avril (2005)]. <http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/print/e-docs/00/00/EA/E9/article.md>
63. **Martin, P. (1997).** Pratiques culturales, ruissellement et érosion diffuse sur les plateaux limoneux du Nord-Ouest de l'Europe. Thèse université Paris-Grignon, 184 p. + annexes.
64. **Mason, G. (2004).** Définition de l'analyse coût-efficacité et de l'analyse coûts-avantages et leurs applications au développement du marché du travail et à la politique sociale [en ligne]. http://www.tbs-sct.gc.ca/eval/tools_outils/cost-effectiveness/greg-mason_f.asp
65. **Morgan, R.P.C., (1992).** Erosion du sol dans les pays du nord de la Communauté Européenne. Atelier EIW. Elaboration d'un cadre pour un code de bonnes pratiques agricoles, Bruxelles, 21-22 mai 1992.
66. **Mosnier, C. (2005),** Conséquences de la conditionnalité environnementale de 2003 sur les performances agri-environnementales des exploitations agricoles, une modélisation bio-économique appliquée au Lauragais. Mémoire de master II, Université Montpellier I et Agro Montpellier, 153 p.
67. **Mosnier, C., Van de Moortel, C., et al. (2006).** Conditionnalité des aides directes : Impact de la mise en œuvre de certaines BCAE dans des exploitations d'élevage et de grandes cultures. *Notes et Etudes Economiques* (Ministère de l'Agriculture), n. 25, août.
68. **OCDE (2003).** Mesures agro-environnementales : tour d'horizon des évolutions [en ligne]. 34 p. [Consulté en octobre 2007]. <http://www.oecd.org/dataoecd/23/9/19128427.pdf>
69. **Oldeman, L.R., Hakkeling R.T.A. et W.G. Sombrock, (1991).** *Global Assesment of Soil Degradation (GLASOD)*. 2nd ed. Wageningen, Pays Bas : ISRIC
70. **Pearce, D.W., Turner, R. K. (1990).** *Economics of natural resources and the environment*. Baltimore : The John Hopkins University Press. 378 p.

Ghali M.A. – «Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de l'écoconditionnalité et des mesures agrienvironnementales de lutte contre l'érosion - Cas du Lauragais - »

71. **Pearce, D.W. (2002).** *Economic values and the natural world*. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press. 129 p.
72. **Profil environnemental de la région Midi-Pyrénées.** Ressources naturelles : sol et ressources minérales [en ligne] [consulté en avril 2005]. 4 p. <http://www.midi-pyrenees.ecologie.gouv.fr/Le-profil-environnemental>
73. **Revillon, P.Y. (1984).** Le problème de l'érosion des terres agricoles dans le Lauragais (Haute-Garonne). Dossier préliminaire à caractère méthodologique et pédagogique. Rapport du Bureau du Développement de la Production Agricole, ministère de l'Agriculture (ENGREF) et Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie, 31 p.
74. **Rotillon, G. (2005).** *Economie des ressources naturelles*. Paris : La découverte. 123 p. (Repères ; n° 406).
75. **Sander, J. (2005).** Assessing farmer behaviour as affected by policy and technological innovations: bio-economic farm models. Seamless project deliverable PD 3.3.1, Wageningen University plants sciences.
76. **Soulier, M.C. (1995).** Les mouvements de terrain de janvier et février 1994 dans l'Yssandonnais (Corrèze) et leur impact sur les activités humaines. Mémoire de maîtrise, université de Limoges, 137 p.
77. **Tietenberg, T. (1998).** *Environmental economics and policy*. New York : Addison-Wesley educational publishers Inc. 460 p.
78. **Treich, N. (2005).** L'analyse coût-bénéfices de la prévention des risques [en ligne]. [Consulté en octobre 2007]. <http://www2.toulouse.inra.fr/lerna/treich/ACB03.pdf>
79. **Toillier, A., Hervé, D., Lefur, J. (2004).** la modélisation du fonctionnement d'une à plusieurs (N) exploitations agricoles. Compte-rendu de la XIIIème session de l'atelier : modélisation environnement IRD-NSS Dialogues [en ligne]. [Consulté en octobre 2007]. <http://netx.u-paris10.fr/nss/atelier13.htm>
80. **Vallée, A. (2002).** *Economie de l'environnement*. Paris : Seuil. 344 p. (Points, série Economie ; n° E53).
81. **Vivien, F.D. (1994).** *Economie et écologie*. Paris : La découverte. 121 p. (Repères ; n° 158).

Annexes

Modèle GAMS

option nlp=conopt3,minlp=sbb;

*-----

sets

c **crops** /BHERB, DWRA, SWRA, MZRA, SWHE, DWHE, MAIZ, SUNF, SOYA, BARL, FALL/

CS(C) /SWHE, DWHE, BARL, FALL/

oc(c) /SUNF, SOYA/

COL(C) /SUNF, soya/

I(c) **culture intercalaire** /DWRA, SWRA, MZRA/

s **soils calcareous clay and boulbenes** /s1, s2/

sys **conventional and conservation system** /conv, cons/

IT **iterations** /it1*it1/

NAT **STATES OF NATURE** /N1*N100/

t **techniques implying different levels** 1 dry 2 irrig /t1*t2/

TI(T) **irrigated techniques** /T2/

ALIAS (C, PC) ;

set CT(C, pc, S, T) **set of combinations between crop and technique**

/

SWHE. (DWHE, DWRA, SUNF, SOYA, BARL, FALL) .S1*S2.T1

MAIZ. (SWHE, DWRA, SWRA, MAIZ, DWHE, SUNF, SOYA, BARL, FALL) .S1*s2.T1*T2

DWHE. (SWHE, SWRA, MZRA, MAIZ, SUNF, SOYA, BARL, FALL) .S1*s2.T1

SUNF. (SWHE, DWHE, MAIZ, BARL, FALL, DWRA, SWRA, MZRA) .S1*S2.T1

SOYA. (SWHE, DWHE, MAIZ, SUNF, BARL, DWRA, SWRA, MZRA, FALL) .S1*S2.T1*T2

BARL. (SWHE, DWHE, MAIZ, SUNF, SOYA, DWRA, SWRA, MZRA, FALL) .S1*S2.T1

fall. (SWHE, DWHE, MAIZ, SUNF, SOYA, BARL, DWRA, SWRA, MZRA, FALL) .s1*S2.t1

bherb. (bherb) .S1*S2.T1

DWRA. (SWHE, MAIZ, SUNF, SOYA, BARL, FALL, DWRA, SWRA, MZRA) .S1*s2.T1

SWRA. (DWHE, MAIZ, SUNF, SOYA, BARL, FALL, DWRA, SWRA, MZRA) .S1*S2.T1

MZRA. (SWHE, DWHE, SUNF, SOYA, BARL, FALL, DWRA, SWRA) .S1*s2.T1*T2

/;

*-----

scalar

PMinter **prime interculture en euro** /122/

pmo **prix de la main d'oeuvre** /7.61/

aidebherb **allouée pour les bandes enherbées selon les cultures SCOP en €**/450/

maxherb **limite supérieure pour la surface à mettre en bandes enherbées en**
ha/11/

* *surface à implanter est plafonnée à l'obligation de gel*

prime **prime de base en euros par quintal** /61.56/

Rdtr **rendement de reference pour le departement par ha**/5.13/

s_ref **surface de reference (110 ha- 10ha de jachère)** /99/

PHI **coefficient d'aversion au risque** /2/;

*-----

parameters

LANDAV(S) **Land availability per soil type** /S1 60, S2 50/

YC(C, S, t, sys) **Yields per crop per soil and cultural system**

Y(C, pc, s, t, sys) **Yields per crop and previous crop and technique conventional
and conservation syst**

COSTC(C, S, T) **costs (€ per ha)**

COST(C, pc, S, T) **Total cost Variable costs are included here**

COSTS(C, pc, S, T, SYS) **Total Costs crop and technique and system per ha**

WATC(C, S, T) **Water use in mm per crop and technique per ha**

PRICE(C) **Price per crop euros per ton**

IRR(S) **Part of irrigated land per soil type**

IRR(S) /S1 0.2, S2 0.5/;

Table correcc(C, SYS)

CONV

CONS

Ghali M.A. - «Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de l'écoconditionnalité et des mesures agrienvironnementales de lutte contre l'érosion - Cas du Lauragais - »

```

MAIZ      1          1.2
SWHE      1          1.2
DWHE      1          1.2
SUNF      1          1.2
SOYA      1          1.2
BARL      1          1.2
FALL      1          1.2
bherb     1          1.2
DWRA      1          1.2
SWRA      1          1.2
MZRA      1          1.2 ;

```

PARAMETER YC(C,S,t,sys) yields conventional system
\$include yield.inc

PARAMETER YPC(C,PC,S,T,sys) variation of yield conventional system with
previous crop;

YPC(C,PC,S,T,sys)\$CT(C,pc,S,T) = YC(C,S,T,sys) ;

option ypc:2:4:1;

display YPC;

parameter Y(c,pc,s,t,sys);

Y(c,pc,s,t,sys)\$CT(C,pc,S,T)= YPC(C,pc,S,t,sys);

Parameter eros(c,pc,s,t,sys)

\$include erosion.inc

PARAMETER COSTC(C,S,T) in euros per ha (Fixed costs labour and seeds)

\$include couts.inc

PARAMETER COST (C,PC,S,T);

COST(C,PC,S,T)\$ (NOT SAMEAS(C,PC))= COSTC (C,S,T) ;

COST(C,PC,S,T)\$ (SAMEAS(C,PC)) = COSTC (C,S,T);

** just in case it is necessary to differentiate*

COSTS(C,pc,S,T,sys)\$CT(C,pc,S,T)=COST(C,pc,S,T)*CORRECC(C,sys);

OPTION COSTS:2:4:1

DISPLAY COSTS;

parameter obs(c)

/

FALL 11.00

SWHE 26.00

DWHE 12.00

MAIZ 23.00

SUNF 20.00

SOYA 8.00

BARL 10.00/;

PARAMETER PRICE(C) in euros per quintal

/SWHE 11.632, MAIZ 11.966, DWHE 13.53, SUNF 21.327, SOYA 19.63, BARL 9.75,

FALL 0, bherb 0,DWRA 13.53 ,SWRA 11.632,MZRA 11.966 /;

parameter vari(c) price variability in percent

/SWHE 14.67

MAIZ 50.75

DWHE 14.67

SUNF 37.68

SOYA 27.28

BARL 1.81

Fall 1

bherb 1

DWRA 14.67

SWRA 14.67

```

MZRA 50.75/;
parameter variY(c) yield variability PER CROP
/ SWHE 70
  DWHE 90
  MAIZ 41
  SUNF 61
  SOYA 22
  BARL 25
  fall 1
  bherb 1
  DWRA 90
  SWRA 70
  MZRA 41/;

parameter Subinter1 subvention si interculture couvre plus de 40% de la SAU ;
subinter1= PMinter*1.2;
parameter Subinter2 subvention si interculture couvre moins de 20% de la SAU ;
subinter2= PMinter*0.8;
PARAMETER PMSYS(c,t,sys) prime pour le système conservateur à labour minimal
/
(SWHE, SWRA).T1.cons 190,
(MAIZ, MZRA).T1.cons 190,
(MAIZ, MZRA).T2.cons 190,
(DWHE, DWRA).T1.cons 190,
(BARL).T1.cons 190,
(FALL).T1.cons 190,
(SUNF).T1.cons 190,
(SOYA).T2.cons 190/;
parameter coeff(c, nat) ;
coeff(c, nat)=1 +uniform(-1,1)*vari(c)/100;
parameter pnn(c, nat);
pnn(c, nat)=price(c)*coeff(c, nat) ;
display pnn ;
parameter coeffY(c, nat) ;
coeffY(c, nat)=1 +uniform(-1,1)*variY(c)/100;
parameter YCnn(c, pc, s, t, sys, nat);
YCnn(c, pc, s, t, sys, nat)=Y(c, pc, s, t, sys)*coeffY(c, nat) ;
display YCnn ;
parameter V_droit valeur de droit;
V_droit=S_ref*prime*rdtr*(1-0.03)*0.75*0.95;
*0.03 correspond au cut-coef qui est un coef de réduction d'aide qui varie
selon
*les département ; pour le midipyrénées est de 3%
parameter droit_j le droit au jachère;
droit_j= prime*rdtr*11*0.95*0.75;
*la valeur 11 correspond a la superficie mise en jachere (10% de la Scop)
parameter aide_dc aides decouplees;
aide_dc = V_droit + droit_j;
parameter max_aidecp seuil de l'aide couplee;
max_aidecp = S_ref*prime*rdtr*(1-0.03)*0.25*0.95;
display aide_dc;
parameter sup_aide(C,T)
/ (MAIZ).T2 183
  (DWHE).T1 240/;
PARAMETER DSHA(C,T) in euros per ha
*SUBSIDIES FOR 2001 AFTER AGENDA 2000
$include DSHA.inc

parameter DSHAcop (C,T) alignement des aides cop
$include DSHAcop.inc

```

```

PARAMETER SOL(S) reference oilseed surface
/S1 0.2, S2 0.2/;
PARAMETER risque(IT) to simulate risque variations
/it1 0, it2 0.25 ,it3 0.5 ,it4 0.75, it5 1, it6 1.25, it7 1.5, it8 1.65, it9
1.8 ,it10 2/;
PARAMETER MB(c,pc,t,s,sys);
MB(c,pc,t,s,sys) $CT(C,pc,S,T)=YPC(C,pc,S,t,sys)*PRICE(C)+ 0.25*DSHAcop(c,t) +
sup_aide(C,T)- COSTS(C,pc,S,T,sys);
option mb:2:4:1;
display mb;
*-----

```

VARIABLES

```

U                UTILITY
Z                INCOME
ZN(NAT)          INCOME PER STATE OF NATURE
DEV(NAT)         DEVIATIONS OF INCOME

```

POSITIVE VARIABLES

```

STDV             STANDARD DEVIATION OF INCOME
SUBbherb         subention pour la bande enherbée
X(C,pc,S,T,sys) CROP LEVEL
EROSL(c)         niveau d'érosion par culture
eros11(c,sys)   niveau d'érosion par système
erost            NIVEAU DE L'EROSION
aide(c)          valeur de l'aide decouplée que le modele compare avec le maximum
subbherb
subinter
subsys          subvention au système conservateur;
X.L(C,PC,S,T,sys)=0;
*x.up(c,pc,s,t,'CONS')=0;
*x.up(i,pc,s,t,sys)=0;

```

BINARY VARIABLES

```

binbherb
binbherb1
bininter
binsys
*-----

```

EQUATIONS

```

UTILITY          OBJECTIVE
PROFIT           EXPECTED INCOME
EROSION          EROSION LEVEL
erosion1
erosiontot
LAND             LAND CONSTRAINT
IRRLAND          CONSTRAINT OF IRRIGATED LAND
PROFITN         INCOME PER STATE OF NATURE
DEVREN          DEVIATIONS OF INCOME
STDEV           STANDARD DEVIATION OF INCOME
fallows         jachère obligatoire
fallows2        jachère volontaire
aide_c          aide couplée à la production
bdenherbe       contrainte pour la bande enherbé
bdenherbe1      contrainte pour plafonner la bande enherbé
bdenherbe2      equation de calcul de la surfa de bde enherbée au delà de 3%
aide_bherb      equation de calcul de l'aide pour la bde enherbé
ROTATION1       equation de rotation
ROTATION2
ROTATION3
ROTATION4

```

```

ROTATION5
ROTATION6
ROTATION7
ROTATION8
ROTATION9
ROTATION10
primesys      subventions pour système conservateur
aide_inter
;

UTILITY .. Z-PHI*STDV =E= U;
PROFIT ..
SUM( (C,pc,S,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) *Y(C,pc,S,T,SYS) *PRICE(C) ) -

SUM( (C,pc,S,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) *COSTS(C,pc,S,T,SYS) ) +
*
SUM( (C,pc,S,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) *DSHA(C,T) )
(aide_dc + min(sum(c,aide(c)),max_aidecp) )*(1-0.05*(1-binbherb)) +
subbherb
+sum( (c,pc,s,t,sys) $CT(c,pc,s,t), x(c,pc,s,t,sys) *sup_aide(C,T) ) +
subinter + subsys =E= Z;
aide_inter.. sum( (i,pc,s,t,sys) $CT(i,pc,s,t),
x(i,pc,s,t,sys) ) *PMinter=e=subinter;
aide_c(c) .. sum( (pc,s,t,sys) $CT(c,pc,s,t), x(c,pc,s,t,sys) *DSHAcop(C,T) *0.25) =e
= aide(c);
LAND(S) .. SUM( (C,pc,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) ) =L= LANDAV(S);
IRRLLAND(S) .. SUM( (C,pc,TI,SYS) $CT(C,pc,S,TI), X(C,pc,S,TI,SYS) ) +
SUM( (pc,TI,SYS), X('SOYA',pc,S,TI,SYS) ) =L= IRR(S) *LANDAV(S);
EROSION(c) ..
SUM( (pc,S,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) *EROS(C,pc,S,t,sys) ) =E=
EROSL(c);
EROSION1(c,sys) .. SUM( (pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) *EROS(C,pc,S,t,sys) ) =E=
EROS1L(c,sys);
erosiontot.. sum(c,erosl(c))=e= erost;
PROFITN(NAT) .. SUM( (C,pc,S,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) *YcNN(C,pc,S,T,S
YS,NAT) *PNN(C,NAT) ) -

SUM( (C,pc,S,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) *COSTS(C,pc,S,T,SYS) ) +
(aide_dc + min(sum(c,aide(c)),max_aidecp) )*(1-0.05*(1-binbherb)) +
subbherb
+sum( (c,pc,s,t,sys) $CT(c,pc,s,t), x(c,pc,s,t,sys) *sup_aide(C,T) ) +
subinter + subsys =E= ZN(NAT) ;
DEVREN(NAT) .. ZN(NAT) -Z =E= DEV(NAT);
STDEV .. SQRT(SUM(NAT,SQR(DEV(NAT)))/CARD(NAT))=E= STDV;
FALLOWS.. 0.1*SUM( (C,pc,S,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) ) =L=
SUM( (pc,S,T,SYS), X('FALL',pc,S,T,SYS) $CT('fall',pc,S,T) );
FALLOWS2.. 0.33*SUM( (C,pc,S,T,SYS) $CT(C,pc,S,T), X(C,pc,S,T,SYS) ) =g=
SUM( (pc,S,T,SYS), X('FALL',pc,S,T,SYS) $CT('fall',pc,S,T) );
ROTATION1(S) .. SUM( (C,T,SYS) $CT(C,"DWHE",S,T), X(C,"DWHE",S,T,SYS) ) =L=
SUM( (PC,T,SYS) $CT("DWHE",PC,S,T), X("DWHE",PC,S,T,SYS) );
ROTATION2(S) .. SUM( (C,T,SYS) $CT(C,"SWHE",S,T), X(C,"SWHE",S,T,SYS) ) =L=
SUM( (PC,T,SYS) $CT("SWHE",PC,S,T), X("SWHE",PC,S,T,SYS) );
ROTATION3(S) .. SUM( (C,T,SYS) $CT(C,"MAIZ",S,T), X(C,"MAIZ",S,T,SYS) ) =L=
SUM( (PC,T,SYS) $CT("MAIZ",PC,S,T), X("MAIZ",PC,S,T,SYS) );
ROTATION4(S) .. SUM( (C,T,SYS) $CT(C,"SUNF",S,T), X(C,"SUNF",S,T,SYS) ) =L=
SUM( (PC,T,SYS) $CT("SUNF",PC,S,T), X("SUNF",PC,S,T,SYS) );
ROTATION5(S) .. SUM( (C,T,SYS) $CT(C,"SOYA",S,T), X(C,"SOYA",S,T,SYS) ) =L=
SUM( (PC,T,SYS) $CT("SOYA",PC,S,T), X("SOYA",PC,S,T,SYS) );
ROTATION6(S) .. SUM( (C,T,SYS) $CT(C,"BARL",S,T), X(C,"BARL",S,T,SYS) ) =L=
SUM( (PC,T,SYS) $CT("BARL",PC,S,T), X("BARL",PC,S,T,SYS) );
ROTATION7(S) .. SUM( (C,T,SYS) $CT(C,"FALL",S,T), X(C,"FALL",S,T,SYS) ) =L=
SUM( (PC,T,SYS) $CT("FALL",PC,S,T), X("FALL",PC,S,T,SYS) );

```

```

ROTATION8(S) .. SUM((C,T,SYs)$CT(C,"SWRA",S,T),X(C,"SWRA",S,T,SYs))=L=
SUM((PC,T,SYs)$CT("SWRA",PC,S,T),X("SWRA",PC,S,T,SYs));
ROTATION9(S) .. SUM((C,T,SYs)$CT(C,"DWRA",S,T),X(C,"DWRA",S,T,SYs))=L=
SUM((PC,T,SYs)$CT("DWRA",PC,S,T),X("DWRA",PC,S,T,SYs));
ROTATION10(S) .. SUM((C,T,SYs)$CT(C,"MZRA",S,T),X(C,"MZRA",S,T,SYs))=L=
SUM((PC,T,SYs)$CT("MZRA",PC,S,T),X("MZRA",PC,S,T,SYs));
primesys..sum((c,pc,s,t,sys)$ct(c,pc,s,t),x(c,pc,s,t,sys)*Pmsys(c,t,sys))=e=s
ubsys;
bdenherbe..sum((pc,s,t,sys)$CT('bherb',pc,S,T),x('bherb',pc,s,t,sys))=g=0.03*
sum((c,pc,s,t,sys)$CT(C,pc,S,T),x(c,pc,s,t,sys))*binbherb;
bdenherbel..sum((pc,s,t,sys),x('bherb',pc,s,t,sys)$CT('bherb',pc,S,T))=l=
maxherb;
bdenherbe2..(sum((pc,s,t,sys)$CT('bherb',pc,S,T),x('bherb',pc,s,t,sys))-
0.03*sum((c,pc,s,t,sys)$CT(C,pc,S,T),x(c,pc,s,t,sys)))*binbherbl=g=0;
aide_bherb..(sum((pc,s,t,sys)$CT('bherb',pc,S,T),x('bherb',pc,s,t,sys))-
0.03*sum((c,pc,s,t,sys)$CT(C,pc,S,T),x(c,pc,s,t,sys)))*aidebherb*binbherbl=e=
subbherb;

*-----affichage des RESULTATS-----
MODEL BIOECO /ALL/;
PARAMETER RESULT(*,*,*,*);
PARAMETER RESULT2(*,*,*);
PARAMETER RESULT0(*,*,*);
PARAMETER RESULT3(*,*,*,*);
*Parameter deviation(*,*) ;
*parameter deviatc,deviato,PAD,MINpad;
parameter subval(c,sys,t,it);
parameter Pmsys_ori(c,t,sys) ;
Pmsys_ori(c,t,sys)= Pmsys(c,t,sys);
parameter risque(it);
risque(it)=phi;
*loop(it,
* phi= risque(it)
*Pmsys(c,t,"cons")=Pmsys_ori(c,t,"cons")+ 30*(ord(it)-1) ;
*Pmsys(c,t,"conv")=Pmsys_ori(c,t,"conv") ;
SOLVE BIOECO MAXIMIZING U USING MINLP;
RESULT0(C,'level',it)=sum((pc,s,t,sys)$CT(C,pc,S,T),X.L(C,PC,S,T,SYs));
RESULT(c,SYs,'LEVEL',it)=sum((pc,s,t)$CT(C,pc,S,T),x.l(c,pc,s,t,sys));
RESULT2('revenu Z','LEVEL',it)= Z.L;
result2('F-objectif','LEVEL',it)=U.L ;
RESULT2('erosion','total-LEVEL',it)= erost.L ;
RESULT2('erosion','LEVEL ha',it)$(sum((c,pc,s,t,sys),X.L(c,pc,s,t,sys))>0)=
erost.L/sum((c,pc,s,t,sys),X.L(c,pc,s,t,sys));
result2('coutotal','level',it)=
SUM((c,pc,S,T,SYs)$CT(C,pc,S,T),X.L(C,pc,S,T,SYs))*COSTS(C,pc,S,T,SYs);
result2('aide_dec','level',it)= aide_dc;
result2('aide-c','level',it)= min
(sum(c,aide.L(c)),max_aidecp)+sum((c,pc,s,t,sys)$CT(c,pc,s,t),x.L(c,pc,s,t,sys))
*sup_aide(C,T));
result2('prime','level',it)= subinter.L + subsys.L + subbherb.L;
result2('aidetot','LEVEL',it)=(aide_dc +
min(sum(c,aide.L(c)),max_aidecp))*(1-0.05*(1-binbherb.L))+subbherb.L

+sum((c,pc,s,t,sys)$CT(c,pc,s,t),x.L(c,pc,s,t,sys))*sup_aide(C,T))+subinter.L
+ subsys.L ;
*deviation(c,it)$(sameas(c,"fall") and sameas(c,"maiz") )=obs(c)-
sum((s,t,sys),X.L(C,S,T,SYs));
*deviatc(it)= sum(cs,obs(cs))- sum((cs,s,t,sys),X.L(CS,S,T,SYs));
*deviato(it)= sum(oc,obs(oc))- sum((cs,s,t,sys),X.L(CS,S,T,SYs));
*PAD(it) =
(sum(c,abs(deviation(c,it)))+abs(deviatc(it))+abs(deviato(it)))*100/SUM(s,LAN

```

```

DAV(S));
*Pad1(it)=sum(oc,abs(deviation(oc,it)))*100/SUM (s,landav(s));

OPTION RESULT:2:3:1;
OPTION RESULT2:2:2:1;
OPTION RESULT0:2:2:1;

DISPLAY result0, result, RESULT2;
*deviation,deviatc,deviato,pad; ,result3
subval(c,sys,t,it)= Pmsys(c,t,sys)
option subval:2:3:1;
display subval;
*minpad =smin(it,PAD(it));
*display minpad;
*);

```

Tableau : valeurs d'érosion pour quelques combinaisons d'activités
(Valeurs simulées par Cropsyst)

Exemples de combinaisons (Culture, précédent, sol, technique, système)	Erosion en tonne
SWHE.SWHE.S1.T1.CONV	6.36
SWHE.SUNF.S2.T1.CONV	7.82
SWHE.FALL.S2.T1.CONV	10.53
DWHE.DWHE.S1.T1.CONV	6.36
DWHE.BARL.S2.T1.CONV	7.78
DWHE.SUNF.S1.T1.CONV	3.51
DWHE.FALL.S2.T1.CONV	10.53
MAIZ.MAIZ.S1.T2.CONV	6.83
SUNF.DWHE.S2.T1.CONV	4.08
MAIZ.SUNF.S1.T2.CONV	6.83
MAIZ.SUNF.S2.T2.CONV	7.41
MAIZ.MAIZ.S2.T2.CONV	4.11
SUNF.SWHE.S1.T1.CONV	5.15
SUNF.SUNF.S2.T1.CONV	10.33
SUNF.FALL.S1.T1.CONV	20.51
SUNF.FALL.S2.T1.CONV	11.31
SUNF.FALL.S1.T1.CONV	10.12
SUNF.FALL.S2.T1.CONV	8.11
SOYA.SWHE.S1.T2.CONV	6.71
SOYA.DWHE.S1.T2.CONV	6.71
SOYA.MAIZ.S2.T2.CONV	3.65
SOYA.MAIZ.S1.T2.CONV	5.66
SOYA.SOYA.S1.T2.CONV	9.29
BARL.MAIZ.S2.T1.CONV	12.75
BARL.SOYA.S1.T1.CONV	16.40
BARL.SWHE.S1.T1.CONV	3.9
BARL.SWHE.S2.T1.CONV	3.52
BARL.FALL.S1.T1.CONV	16.40
BARL.FALL.S2.T1.CONV	9.29
FALL.DWHE.S2.T1.CONV	5.54
FALL.MAIZ.S2.T1.CONV	5.26
FALL.MAIZ.S1.T1.CONV	4.62
FALL.SOYA.S2.T1.CONV	4.31
bherb.SWHE.S1.T1.CONV	1.3
bherb.SWHE.S2.T1.CONV	1.1
bherb.SWHE.S1.T1.CONV	1
bherb.SWHE.S2.T1.CONV	0.9

