

CIHEAM



*International
Centre for Advanced
Mediterranean Agronomic
Studies*

Centre
International
de Hautes Etudes
Agronomiques Méditerranéennes

Thèse / Thesis

requis pour
l'obtention du titre

submitted
for the degree of

Master of Science

**Utilisation de l'approche
multicritère pour une analyse
intégrée des problèmes
économiques et environnementaux**
Cas de l'UCPA Borj Hamdouna en Tunisie

Mondher MIMOUNI

Collection "Master of Science" n° 38

1997

**Institut Agronomique Méditerranéen de
Montpellier**



CIHEAM

Centre International de Hautes Etudes
Agronomiques Méditerranéennes

*International Centre for Advanced
Mediterranean Agronomic Studies*

Secrétariat Général / *General Secretary*

11, rue Newton
75116 PARIS
Tel.: (33-1) 53 23 91 00 – Fax: (33-1) 53 23 91 01



Instituts Agronomiques Méditerranéens
Mediterranean Agronomic Institutes
(IAM)

Bari – Chania – Montpellier – Zaragoza

IAM – Bari

Via Ceglie 23
70010 Valenzano, Bari, Italy
Tel.: (39) 80 78 06 111 – Fax: (39) 80 78 06 206

IAM – Chania

P.O. Box 85
73100 Chania, Crete, Greece
Tel.: (30) 821 81 151 – Fax: (30) 821 81 154

IAM – Montpellier

3191, route de Mende – BP 5056
34033 Montpellier Cedex 1, France
Tel.: (33-4) 67 04 60 00 – Fax: (33-4) 67 54 25 27

IAM – Zaragoza

Apdo. 202
50080 Zaragoza, Spain
Tel.: (34) 76 57 60 13 – Fax: (34) 76 57 63 77

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

MIMOUNI (Mondher) - Utilisation développement de l'approche multicritère pour une analyse intégrée des problèmes économiques et environnementaux. Cas de l'UCPA Borj Hamdouna en Tunisie. - Montpellier : CIHEAM/IAMM, 1997 - 85 p - (Thèse Master of Science, IAMM, 1996, Collection *Thèses et Masters*, n°38)

Utilisation de l'approche multicritère pour une analyse intégrée des problèmes économiques et environnementaux : le cas de l'UCPA Borj Hamdouna (Tunisie)

MIMOUNI Mondher

Résumé : Cette étude propose une méthode permettant de trouver un compromis au conflit persistant entre les problèmes économiques des producteurs agricoles et les méfaits de leurs modes de production sur l'environnement par l'érosion et la pollution, dans la région de Béja en Tunisie. Fondée sur la modélisation agronomique à travers un modèle biophysique et l'optimisation économique et environnementale réalisée à l'aide d'un programme multiobjectif, ce travail anticipe les répercussions économiques et environnementales d'une multitude de combinaisons de systèmes productifs, et nous procure ainsi les moyens de choisir les modes de production les plus efficaces à préconiser aux producteurs. En établissant des normes et avec des instruments économiques, nous avons montré qu'il était possible de remédier à la situation qui prévalait en appliquant, soit des normes de fertilisation, qu'on doit faire varier selon certaines conditions climatiques, soit des variations de prix d'inputs et d'outputs pour contraindre les producteurs à s'orienter vers les systèmes de production que nous jugeons les plus appropriés, sans les léser économiquement. Nous tentons de leur fournir les moyens de préserver leur patrimoine terre ou du moins, de diminuer les atteintes qui lui sont portées afin de garantir sa perpétuation.

Mots-clés : Tunisie ; Pollution ; Erosion ; Environnement ; Modèle de simulation ; Programmation linéaire ; Risque ; Norme ; Politique des prix

Use of the multicriteria approach for an integrated analysis of economic and environmental problems: the case of the UCPA Borj Hamdouna

Abstract: A method is proposed for reaching a compromise between prevailing farmers' economic problems and the harmful effects of farming systems on the environment which result in erosion and pollution around the region of Beja (Tunisia). Based on farm modelling, using a biophysic model, and on an economic and environmental optimization using a multiple objective program, this study foresees the economic and environmental impacts of several possible farming systems and thus tries to indicate the most efficient farming systems. The adoption of existing standards and economic tools can help solve several problems, e.g. application of fertilizers according to climatic conditions, input and output price variations leading farmers to choose the most appropriate farming systems, without impoverishing them; on the contrary, the means of preserving their land heritage or, at least, of reducing the impacts affecting it so as to ensure its perpetuation are suggested.

Keywords: Tunisia; Pollution; Erosion; Environment; Simulation model; Linear programming; Risk; Norm; Price policy.

ISBN : 2-85352-164-8
Prix : 75F

Série Thèses et Masters

Ce Master est le 38^e numéro de la collection "Master of Science" de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (voir liste en fin de volume).

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 de ses enseignants-chercheurs.

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

Utilisation développement de l'approche multicritère pour une analyse intégrée des problèmes économiques et environnementaux. Cas de l'UCPA Borj Hamdouna en Tunisie.

a été soutenue par **Mondher MIMOUNI** en mai 1996 devant le jury suivant :

M. C. MARQUES	Professeur, Université d'Evora, Portugal,	Président
M. S. ZEKRI,	Enseignant, Université Mograne,	Membre
Mme. F. JACQUET	Enseignant - chercheur, CIHEAM/IAM, Montpellier,	Membre
M. G. FLICHMAN	Enseignant - chercheur, CIHEAM/IAM, Montpellier,	Membre

Le travail de recherche a été encadré par M. G. FLICHMAN et M. S. ZEKRI.

Le texte a été mis en forme pour cette publication par Mme M.C.TIGOULET pour le Bureau des Publications de l'Institut de Montpellier.

CIHEAM
Institut Agronomique Méditerranéen
de Montpellier

Directeur : Gérard GHERSI
3191, route de Mende - B.P. 5056
34033 Montpellier Cédex 1 - France
Tél : 04 67 04 60 00
Fax : 04 67.54.25.27

Sommaire

Introduction générale	5
I- Introduction.	5
II- Cycle de l'eau, érosion et pollution.	7
Chapitre I : Problématique	9
I- Introduction.	9
II- Objectif du travail.	9
III- Cadre d'étude.	10
Chapitre II - Méthodologie	13
I- Approche méthodologique	13
II- La modélisation technico-économique comme outil d'analyse	13
III- Les modèles de simulation de croissance des plantes	14
IV- Programmation multiobjectif	15
Chapitre III - Détermination des coefficients techniques	21
I- Le modèle de simulation EPIC	21
II- Analyse des résultats des simulations	23
III- Les limites du modèle EPIC.	24
Chapitre IV - Variables et contraintes du modèle	27
1- Les activités productives	27
II- Formulation des contraintes	29
III.-La prise en compte des atteintes à l'environnement	32
IV.-La prise en compte du risque	32
Chapitre V - Analyse des résultats	35
I- Analyse du conflit entre la marge directe et la percolation des nitrates	36
II- Analyse du conflit entre la marge directe et l'érosion.	39
III- Prise en compte des 3 objectifs à la fois.	43
IV- Prise en compte du risque environnemental.	45
Chapitre VI - Analyse de sensibilité	53
I- La persuasion morale	53
II- Létablissement des normes	54
III- Instruments économiques	55
Conclusion	61
Bibliographie	79
Annexes	63
Table des matières	81

Introduction générale

I - Introduction.

De l'indépendance à ce jour, d'énormes progrès ont été réalisés dans le domaine agricole qui constitue l'un des piliers de base de l'économie tunisienne. Bien qu'il ait diminué en valeur relative, du fait que sa contribution soit passé de 20% du P.I.B en 1963 à 16% en 1990, ce secteur demeure néanmoins très important pour des raisons sociales et économiques, car il assure l'essentiel de l'approvisionnement alimentaire du pays et occupe 25% de la population active sans oublier sa contribution dans la diffusion du développement régional.

Ce rôle devait s'accroître au cours de l'actuel plan de développement quinquennal 92-96 afin de réaliser la sécurité alimentaire. Ainsi, ce VIII^{ème} plan se base sur le maintien de la part de l'agriculture dans le P.I.B à son niveau observé au cours du VII^{ème} plan, et ceci, malgré l'évolution attendue à un rythme plus élevé que les autres secteurs économiques. Sauf que généralement, entre les prévisions et leurs réalisations existe un écart imputable aux insuffisances techniques, aux contraintes humaines, économiques, institutionnelles et naturelles. L'ensemble de ces contraintes, devenues de plus en plus structurelles, empêche la réalisation du développement escompté.

Etant donné sa position géographique, l'agriculture tunisienne demeure en premier lieu une agriculture pluviale, dans la mesure où 70% des exploitations se situent dans des zones arides. Ceci implique que toute augmentation de la production devra se baser, à l'avenir, sur l'optimisation de la mobilisation et de l'utilisation des eaux qui constituent la ressource la plus limitante. Bien qu'on soit arrivé à mobiliser jusqu'ici 64.5% des 4355 millions de m³ mobilisables, la stratégie nationale adoptée en 89 prévoit la mobilisation à l'horizon de l'an 2000 de la quasi-totalité du potentiel actuellement identifié, soit 4 milliards de m³.

Bien que cette tendance à la mobilisation et à l'exploitation des ressources en eaux soit souhaitable, voire même vitale, elle ne manquera pas pour autant d'accroître les effets de certains problèmes, tels que la pollution par les nitrates, par les phosphates ainsi que l'érosion, et ceci bien entendu, si des améliorations ne sont pas apportées aux pratiques agricoles en vigueur.

En effet, l'accroissement démographique d'une part et l'amélioration du niveau de vie de l'autre, ont encouragé les agriculteurs à intensifier leurs exploitations, à défricher la végétation naturelle et à mettre en culture les parcours, c'est ce qui a favorisé la dégradation du milieu agricole. On estime actuellement à 60% des terres labourables, soit 3 millions d'hectares, les surfaces menacées par l'érosion, dont 1,4 millions d'hectares gravement touchés et parmi lesquelles 10000 ha perdus chaque année.

Ainsi, cette course à l'intensification à travers la mobilisation des ressources et le recours apparemment excessifs aux engrais chimiques et pesticides ont été accompagnées par des effets secondaires négatifs : pollution des eaux, effets sur la santé humaine, la faune et la flore, diminution de la fertilité des sols, déséquilibre écologique, etc... L'ensemble de ces effets fait planer un risque de compromission à moyen et long terme de la durabilité des systèmes de production.

Le fait saillant, c'est que les producteurs à l'origine de ces diverses atteintes, sont indifférents aux externalités négatives qu'ils provoquent, et ceci en ne considérant que les coûts réels ou sociaux de production qui s'expriment pour la société par la valeur de l'ensemble des facteurs de productions consommés, y compris les biens environnementaux. En cherchant à faire converger les objectifs privés et sociaux, nous nous trouverons automatiquement face à une situation conflictuelle, entre, d'une part les objectifs matériels des producteurs pour qui tout changement ne prônant pas une intensification plus poussée, correspondrait à un risque additionnel, et d'autre part, les planificateurs qui sont à la fois préoccupés par la manière d'atteindre l'autosuffisance alimentaire et sensibilisés aux répercussions provoquées par les systèmes de production en place sur l'environnement et la population avoisinante.

Bien que la prise en compte de ces externalités négatives ait commencé dans les années soixante, les premières analyses agro-économiques n'ont eu lieu qu'au début des années soixante-dix (STOEVENER et SHULSTAD, 1975).

Ce retard peut être attribué essentiellement à deux facteurs :

- 1- L'information inadéquate qualitative et quantitative liant les technologies agricoles aux problèmes écologiques.
- 2- Le manque de conscience sociale sur le besoin de conserver l'environnement.

La concentration croissante d'azote dans les sols, les eaux de surfaces et les nappes est à l'origine d'innombrables impacts négatifs sur l'environnement et le sol. Différentes études ont cherché à relier les niveaux excessifs de concentration d'azote dans l'eau potable au cancer de l'estomac et à la méthémoglobinémie, "accumulation pathologique de méthémoglobine dans les hématies la rendant impropre au transport de l'oxygène" qui met en péril surtout les nourrissons. Bien qu'aucune évidence forte ne soit encore disponible sur la limite supérieure de concentration d'azote dans l'eau potable capable de causer ces risques relatifs à la santé (HANLEY, 1990). Ceux-ci peuvent être particulièrement sérieux pour les populations qui dépendent des eaux souterraines pour leurs boissons. Cette eau est lentement renouvelable et une charge pourrait persister des décennies favorisant ainsi l'eutrophisation des fleuves, lacs et mers par le développement excessif des algues. Donc même si la pollution des eaux de surface n'a pas de répercussion directe sur la santé humaine, le risque écologique devrait être traité avec autant d'importance que les risques altérant la santé.

Ces différentes atteintes à l'environnement commencent à prendre de l'ampleur et à inquiéter tous ceux qui sont concernés par le problème de près ou de loin, étant donné que leurs répercussions sont contraires aux aspirations nationales, qui tendent à faire accompagner le développement économique par la préservation d'un potentiel de croissance du bien-être, afin que ce potentiel puisse être transmis aux générations futures. De façon pragmatique, le rapport de Brundtland "Our common future", préparé par la Commission Mondiale pour l'Environnement en 1987, signalait "la nécessité d'atteindre un degré de conservation des ressources naturelles supérieur à celui pratiqué alors, si l'humanité voulait satisfaire ses besoins et désirs à long terme de manière durable. Le développement économique devait donc permettre le maintien des processus écologiques essentiels et l'équilibre des écosystèmes qui nous font vivre. Du côté des sciences naturelles, les analyses des problèmes de la conservation des ressources naturelles ont emprunté une voie radicale, ciblée en particulier sur les caractéristiques biophysiques". Les plus avancés dans cette voie (BROWN et al., 1987) étaient convaincus que si l'alternative de cesser toute production n'était pas possible, il fallait chercher la solution du côté technique. De ce fait, la préoccupation de trouver des technologies mieux adaptées à la conservation des ressources naturelles est apparue.

Les agronomes et les écologues des institutions de recherches et de certaines institutions internationales ont entrepris cette démarche. Leur intérêt premier se portait surtout sur les moyens de conserver et/ou d'améliorer les conditions physiques des ressources naturelles renouvelables. Cette préoccupation peut être visualisée dans les définitions proposées à l'époque pour l'agriculture durable, (DOVER et TALBOT, 1987) elles définissent les systèmes agricoles durables comme ceux dont la productivité ne varie pas avec le temps et ne dégrade pas les autres écosystèmes. La Board for International Food and Agricultural Development (1987) donne trois définitions de l'agriculture durable :

- *Il s'agit de maîtriser correctement les ressources agricoles afin de satisfaire les besoins humains au fur et à mesure qu'ils évoluent, tout en s'assurant que les caractéristiques des ressources naturelles seront conservées.*
- *La capacité d'un système agricole à maintenir la production à travers le temps face aux pressions socio-économiques.*
- *Un système qui conserve et protège les ressources naturelles et qui permet la croissance économique à long terme moyennant une maîtrise correcte des ressources pour assurer l'obtention de rendements stables dans le temps. (Rodale, 1988) indique que le système est durable quand les ressources utilisées dans la production sont maîtrisées, de manière à assurer sa perpétuation et même améliorer ses qualités.*

Lynam et Herdt (1988) définissent la durabilité par la capacité du système agricole à maintenir la productivité à un niveau similaire ou supérieur à la moyenne historique, avec un coefficient de variation selon les fluctuations historiques des rendements. Seuls Knezek et al., (1988), donnent un caractère plus général à la définition :

- *l'agriculture durable est possible quand les ressources internes et externes sont utilisées efficacement par rapport à l'environnement (voir en améliorant ses qualités), d'une manière économiquement viable et en fournissant une juste rémunération du capital investi en agriculture.*

C'est pour préserver les acquis actuels et garantir leur durabilité, voire même leur développement, que les organismes publics tunisiens ont orienté leurs recherches vers les problèmes d'ordres environnementaux, et ceci dans le but de trouver les moyens les plus efficaces à mettre en oeuvre pour réduire les effets négatifs des divers systèmes de production à l'origine de ces multiples atteintes à l'environnement.

II - Cycle de l'eau, érosion et pollution

Dans le sol, deux processus ayant des effets contraires au niveau de la fertilité, peuvent être distingués. Le premier, qui entraîne une augmentation de la fertilité, est lié à une accumulation de nutriments, provoquée par l'activité de micro et macro-organismes, de l'incorporation de matière organique, et de l'action des plantes, le second provoque une chute de la fertilité due à, d'une part, la perte de nutriments, et d'autre part, la perte de particules. La perte de nutriments est consécutive à leur utilisation par les organismes vivant dans le sol et du lessivage de celui-ci. La perte de particules quant à elle, est due à l'érosion hydrique (ruissellement) et éolienne. (DEYBE D, 1992). L'érosion cause la perte irréversible de terre arable, des minéraux, de l'humus, etc... qu'elle contient. Des mesures préventives urgentes s'imposent, afin d'éviter les effets négatifs sur la fertilité des surfaces. L'accroissement des cultures favorisant l'érosion (maïs, betteraves), la dimension plus importante des champs (des longueurs de pente), les machines plus performantes et plus lourdes, le travail en profondeur de la terre arable sans complément d'humus, et l'abandon des cultures fourragères ont contribué à amplifier l'érosion pendant les dernières décennies, (Ulrich ZIEGLER, 1992).

Au cours de divers cheminements, l'eau peut entraîner ou dissoudre des substances susceptibles d'engendrer des nuisances, on dit qu'il y a pollution. L'eau, qui s'infiltre, va séjourner un certain temps dans le sol, les molécules qu'elle renferme peuvent subir des transformations, en particulier s'il y a minéralisation des matières organiques. Mais beaucoup de solutés, éléments ou molécules, sont retenus plus ou moins temporairement par les constituants des sols. Cet ensemble de propriétés constitue le pouvoir épurateur.

Les eaux de ruissellement peuvent renfermer tous les éléments susceptibles d'être entraînés par eux, à condition qu'ils soient déposés à la surface des terrains. En revanche, les eaux d'infiltrations vont provoquer la pénétration en profondeur de tous les corps solubles, ou à l'état de fines particules, y compris des micro-organismes. Le pouvoir épurateur est souvent insuffisant pour permettre une protection convenable de la pollution des eaux. Certains comme les chlorures ou les nitrates filtrent aisément, c'est même le cas pour des éléments à l'état de particules, si le milieu est fissuré. Il s'ensuit que les nappes superficielles ont des teneurs en polluants plus élevés que les eaux des rivières dont le renouvellement est continu. C'est le cas des nitrates, alors que les phosphates sont surtout entraînés par le ruissellement (Stephane HENIN, 1992).

Quant aux autres polluants, tels que les pesticides, leur devenir dépend de leurs propriétés. Ainsi ces derniers sont introduits intentionnellement dans l'environnement pour leur effet biocide. Bien qu'assez perfectionnées, les techniques d'application des pesticides continuent à présenter des risques réels de pollution de l'eau.

Une fois de plus, il est de fait que même lorsqu'ils sont utilisés correctement, la plupart des systèmes d'application entraînent la libération théoriquement nécessaire pour obtenir le résultat désiré. Bien que les techniques aient été nettement améliorées au cours des années et qu'elles continuent de l'être, ce "facteur d'application excédentaire" demeure un problème, même avec les techniques modernes à "faible dose".

Outre les imperfections propres à chacune des techniques d'application actuelles, l'utilisation sans précaution ou abusive de pesticides présente un risque supplémentaire et évitable de pollution de l'environnement. C'est ici en particulier que la meilleure solution pour améliorer la situation est une éducation correcte des utilisateurs de pesticides (O.C.D.E. 1986).

Chapitre I - Problématique

I - Introduction

La recherche toujours croissante pour maximiser le profit et subvenir aux besoins du marché, a fait naître une tendance à l'intensification agricole. Bien que cette intensification permette de subvenir aux besoins des populations, elle ne manque pas pour autant, d'être à l'origine de diverses atteintes à l'environnement et d'une déséconomie externe de production "externalité négative de production" où le système de prix ne guide plus les agents vers des décisions socialement optimales et il en résulte des formes diverses d'inefficacités dans l'organisation des activités de production. Cette externalité est de deux types, l'une est de type spatiale, et cela dans le cas où les décisions de certains agents nuisent à d'autres agents sans qu'il y ait compensation financière "Exemple: l'utilisation excessive de fertilisants par un agent A, va provoquer la pollution d'une nappe exploitée par d'autres agents". L'autre est de type temporel, et on la retrouve un peu dans le concept d'agriculture durable du fait que des producteurs surexploitent des ressources naturelles en dégradant et en polluant le milieu sans tenir compte de l'équité inter-générationnelle.

Les producteurs agricoles responsables de ces diverses atteintes à l'environnement sont économiquement indifférents aux externalités dont ils sont responsables puisqu'ils ne tiennent compte que des coûts privés et ne supportent pas les coûts réels (coûts sociaux) de production. Ces coûts s'expriment pour la société par la valeur de l'ensemble des facteurs de production consommés, y compris les biens environnementaux.

La possibilité pour un producteur d'utiliser le facteur de production "nature" sans en payer le prix, fait qu'il l'utilise tant qu'il y trouve un intérêt, c'est-à-dire jusqu'au point où toute pollution supplémentaire ne permet plus l'augmentation du produit, soit quand le produit marginal est nul. Pour que l'entreprise réduise l'emploi du facteur de production environnement, il faut qu'elle utilise plus de travail, de terre, de capital et de consommation intermédiaire, ou bien qu'elle réduise sa production.

Plus généralement, il s'agit de faire en sorte que le producteur utilise le facteur de production environnement jusqu'au seuil où la valeur de sa production marginale soit égale au coût pour la société de l'unité marginale de pollution. L'entreprise va avoir une production telle que sa contribution au bien-être collectif (la valeur de son produit marginal) soit égale à ce qu'il en coûte à la société (coût marginal de production), (Pierre RAINELLI, 1990).

Tout le problème consiste à trouver les moyens les plus efficaces pour inciter le producteur à prendre en compte le coût de la dégradation de l'environnement, c'est-à-dire à accepter, soit de produire moins, soit d'adopter un nouveau mode de production qui porte moins atteinte à l'environnement et de là voir les moyens qu'il nous faut adopter afin de faire converger les coûts et avantages privés et sociaux.

II - Objectif du travail

Comme ce fut le cas dans plusieurs pays européens au cours des vingt dernières années, l'idée de la protection de l'environnement commence aussi à susciter de l'intérêt en Tunisie.

A partir des analyses faites sur des prélèvements d'eau effectués à 24 endroits précis du plus grand fleuve tunisien "Le Medjerda" et de ses affluents, ainsi qu'à 5 endroits du barrage Sidi Salem, considéré et de loin comme le plus grand bassin d'eau du pays, avec sa capacité d'un milliard de mètres cubes, lui permettant ainsi d'approvisionner quatre millions d'habitants et de touristes en eau potable, en plus des 300 millions de mètres³ fournis aux périmètres irrigués de la vallée de la Medjerda et du Cap-Bon, un cri d'alarme a été lancé avzc le résultat de ces analyses, en effet, le plus grand barrage de Tunisie est menacé de salinisation et d'eutrophisation à cause des apports d'éléments polluants et nuisibles provenant surtout de l'agriculture. De plus, la forte érosion constatée a tendance à accélérer plus que prévue l'envasement de ce grand réservoir d'eau ¹.

¹ Tiré à partir du rapport effectué par la GTZ " Document sur la coopération technique allemande "

Parallèlement à la prolifération de plus en plus importante des substances polluantes, on a noté une augmentation continue des coûts d'épuration et de retraitement, grevant ainsi les factures des consommateurs. Ajouter à cela, les risques encourus par les entreprises agricoles, entre autres, ceux situés en amont de ce barrage, qui vont subir aussi les méfaits de cette pollution dont ils sont en grande partie responsables, vu leur dépendance par rapport à la qualité de l'eau qu'ils utilisent pour l'irrigation, sans pour autant oublier les risques graves qu'ils encourent à cause du problème d'érosion qui les affecte, problème qui ne manquera pas de porter atteinte à l'agriculture de cette région à moyen et à long terme, si des rectifications ne sont pas apportées.

C'est dans ce même ordre d'idées que nous nous sommes proposés d'apporter notre contribution pour traiter ce problème. Mais la question qui se pose est la suivante : à l'aide de quel moyen et à quel niveau doit-on faire notre étude et intervenir pour résorber les différents risques encourus ?

Pour cela, nous aurons à déterminer la position que nous devons adopter.

Doit-on contraindre les producteurs à extensifier, après tous les efforts déployés par l'Etat et les différents organismes pour améliorer la productivité et les inciter à intensifier, ou doit-on ignorer les problèmes précédemment cités et laisser les producteurs continuer sur la même voie d'intensification à outrance, au risque de notre santé et de celle des générations futures ?

Dans le cas contraire où aucune de ces solutions ne nous satisfait, pourrions-nous procéder à une intégration des différents problèmes rencontrés en vue de trouver un compromis à ce dilemme ?

Plusieurs travaux de recherche ont été menés sur différents aspects environnementaux depuis les années 70. La caractéristique commune de ces travaux, c'est qu'ils ont traité un seul aspect environnemental à la fois. Ces travaux ont touché essentiellement les problèmes d'érosion, la pollution des eaux douces par les nitrates, les phosphates et les pesticides. Cependant on ne trouve aucun travail qui essaye de considérer ces différents phénomènes simultanément.

Le présent travail a pour objectif de prendre en considération à la fois les problèmes environnementaux et l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles. Seront considérés dans ce travail, le problème d'érosion en relation avec les techniques culturales, l'efficacité de l'irrigation en fonction des techniques utilisées et potentiellement utilisables ainsi que la pollution par les nitrates.

III - Cadre d'étude

Comme cadre d'étude, nous allons nous intéresser à une exploitation du périmètre irrigué de Badrouna Sidi-Smail, situé en amont du barrage Sidi Salem, qui est fortement affecté par les méfaits des pratiques culturales appliquées, dès lors, une urgence d'intervention s'est fait sentir et cette urgence a été renforcée par le fait qu'une partie de l'eau de ce barrage est destinée à l'utilisation urbaine et industrielle toutes deux exigeantes du point de vue qualité ; c'est ce qui va sans nul doute se répercuter au niveau des coûts de leurs traitements, en plus des risques encourus par la population consommatrice et existants également dans les périmètres irrigués à partir de l'eau de ce barrage. Ces risques encourus par le périmètre irrigué lui-même souffrant également d'un problème d'érosion à grande échelle, ne manqueront pas de nuire à l'agriculture dans cette région à moyen et à long terme si des rectifications ne sont pas apportées.

L'exploitation en question est l'unité coopérative de production agricole "UCPA" Borj Hamdouna.

1 - Présentation de l'UCPA Borj Hamdouna

A - Localisation

Située dans la région de Sidi Smail, l'UCPA Borj Hamdouna fait partie de la Délégation de Béja, chef lieu du Gouvernorat. Elle est limitée au nord par l'oued Medjerda à l'est par l'UCPA Oued Lahmar, au Sud par la route de Bou Salem-Tunis et à l'Ouest par l'Oued El Ouar.

Le gouvernorat de Béja couvre une superficie de 35000 ha soit 2,3 % de la superficie totale du pays, renfermant 253000 ha de SAU (dont 118000 ha sont sévèrement menacés par l'érosion) ce qui constitue 23,4 % de la SAU

du nord-ouest et 5,5 % de la SAU totale du pays. Ce gouvernorat exploite 954 millions de m³ d'eau, ce qui représente 22 % des ressources en eau du pays, ce facteur lui confère une forte contribution à la production agricole nationale à raison de 20 % des agrumes, 10 % du lait et des céréales, 6 % de la viande, 25 % de la betterave à sucre et 22,55 % du tabac, (VIII^{ème} plan de développement national 92/96).

B - Particularité climatique

L'UCPA Borj Hamdouna appartient à l'étage bioclimatique sub-humide, caractérisé par un été long et torride assorti de sirocco d'origine saharienne et par un hiver doux. La moyenne pluviométrique annuelle est de 596,6mm et le nombre de jour de pluie moyen est de 99 jours dont la répartition est de 38 % en hiver, 29 % en automne et 18 % au printemps.

La température moyenne annuelle est de 16,9° C, l'amplitude thermique journalière augmente de l'hiver (janvier 10,05° C) à l'été (juillet 17,83° C).

Le coefficient de variation le plus élevé est observé durant la période hivernale (de novembre à février) janvier et août sont respectivement le mois, le plus froid et le plus chaud, avec une température minimale moyenne de 4,5 et 17,9° C et maximale de 14,6 et 34,8° C (LAATIRIL, 1990).

C - Particularité pédologique

Parmi les différentes classes de sol dans la région, on distingue deux types particuliers prédominant au niveau de l'UCPA :

- Les parcelles CHIBA 1, CHIBA 4 et BRAOUIK, situées du côté de la rive droite de l'Oued Medjerda, sont constituées par des sols peu évolués, d'apport alluviale, leur texture devient de plus en plus fine et argileuse dans les plaines avec une certaine hydromorphie. Les vocations de ces sols sont de type arboricole dans les glacis ensuite céréalière et fourragère dans les plaines alluviales.
- Les deux autres parcelles, soit DOURIA et JOBERT, situées du côté de la rive droite de la Medjerda, sont caractérisées par des sols de type rouge méditerranéens non lessivés à encroûtement calcaire.

D - Patrimoine foncier

Constitué de deux lots séparés, l'UCPA couvre une superficie totale de 892 ha dont 486 ha constituent la surface agricole utile (SAU). Cette dernière renferme 300 ha de sol irrigué.

E - Ressources en eau

L'Oued Médjerda et le barrage Badrouna constituent la principale ressource en eau de cette Unité. En effet, le noyau irrigué existant fait partie du Périmètre Irrigué de Badrouna-Sidi Smail.

F - Ressources humaines

En plus de l'équipe de gestion technique et administrative, l'UCPA dispose de 29 coopérateurs offrant environ 10.000 jours de travail.

G - Bâtiments d'exploitation

Tableau 1 : Capacité des bâtiments d'exploitation

Nature	Nombre	Capacité
Etable	3	177 têtes
Bergerie	1	250 têtes
Salle de vêlage	1	-
Salle de traite	1	-
Magasin de stockage	1	-
Hangar	1	-
Atelier	1	-

H - Matériel agricole

- * Matériel de traction :
 - 7 Tracteurs
- * Matériel tracté pour le travail du sol :
 - 1 Charrue à soc,
 - 3 Covers croop,
 - 3 Canadiennes,
 - 1 Chisel,
 - 1 Vibrel,
 - 1 Rouleau 3 éléments
- * Matériel de semis :
 - 1 Semoir en ligne,
 - 1 Semoir de précision (pour la betterave).
- * Matériel d'entretien :
 - 1 Pulvérisateur,
 - 2 Bineuses (betterave),
 - 1 Epanneur d'engrais.
- * Matériel d'entretien :
 - 2 Moissonneuses batteuses,
 - 1 Faucheuse,
 - 1 Presse paille,
 - 1 Rato-faneur
- * Matériel de transport :
 - 2 Voitures,
 - 2 Camions.
- * Matériel divers :
 - 4 Motopompes
 - 4 Remorques.

2 - Activités agricoles

A - Utilisation du sol (campagne 92/93)

Au niveau de l'UCPA, on pratique un assolement biennal en sec (céréale/fourrage) et un assolement triennal en irrigué (betterave/céréale/fourrage) et cela sur la totalité des 486 hectares de surface agricole utile (SAU).

La superficie labourable est exploitée en moyenne à raison de 61 % en irrigué et 39 % en sec.

Céréales	46,62%	de la SAU
Légumineuses	1,87%	de la SAU
Cultures industrielles.	17,22%	de la SAU
Fourrages	22,65%	de la SAU

B - Activité animale

Les productions fourragères sont valorisées par un élevage bovin de race Pie Noire et ovin de race Noire de Thibar. Cet élevage est caractérisé par un manque d'efficacité économique du fait que sa production se situe en deçà de la moyenne des exploitations limitrophe à même niveau de production ; en effet, la production laitière moyenne de l'UCPA est de 4256 litres par vache, alors qu'elle devrait avoisiner les 4500 litres ; cela est dû a priori à une alimentation déséquilibrée. On retrouve la même situation pour l'élevage ovin, mais cette fois-ci le problème est dû à une alimentation très riche en concentré (622 kg par tête tandis que la moyenne est de 561,8 kg), alors que cet élevage devrait valoriser les parcours ainsi que les résidus des cultures.

Pour garder un bon état sanitaire du cheptel, l'UCPA procède à des traitements prophylactiques par dépistage systématique (analyse du sang, test brucellose, analyse du lait,...), vaccination et désinfection de l'étable et de la salle de traite.

Chapitre II - Méthodologie

I - Approche méthodologique

Pour comprendre le comportement des agriculteurs et analyser les effets de leur mode de fonctionnement sur l'environnement, on se propose de combiner en même temps un modèle biophysique et un modèle mathématique rapportés à l'exploitation agricole, étant donné que les décisions de production sont prises au sein de l'exploitation. L'avantage de cette approche méthodologique est de nous permettre à la fois de tenir compte des aspects socio-économique et écologique de la production, ainsi que de nous fournir les éléments indispensables à l'élaboration de politique potentielle, dans le cas où une quelconque amélioration de la situation qui prédomine est envisagée.

Le développement de cette approche est très récent. Celle-ci est utilisée depuis 1985 par le Center For Agricultural and Rural Development (CARD) aux Etats-Unis sur un modèle sectoriel de l'agriculture américaine. Des modèles qui empruntent cette méthodologie pour l'évaluation des politiques agricoles commencent à se développer en Europe¹ (Maria BLANCO, 1995). Comme le signale FLICHTMAN (1986), "ce type d'approche peut aider à mieux comprendre les implications de l'application de nouvelles politiques sur les différents types d'exploitations et fournir des éléments pour proposer d'autres alternatives politiques".

II - La modélisation technico-économique comme outil d'analyse

1 - Introduction

Avant de nous pencher sur les aspects spécifiques de la méthode retenue, nous allons faire quelques considérations sur l'utilisation de modèle dans l'analyse économique.

L'utilité de disposer d'un moyen permettant l'explication des relations de causes à effets régissant les activités agricoles, nous a orienté vers le choix d'une approche de type analytique telle que la modélisation qui repose sur la notion de fonction de production. Ce concept de fonction de production est issu des sciences physique et biologique où les rapports facteurs/produits sont générés moyennant des processus supposés bien connus. Dans ce contexte, ce type de fonction de production peut décrire les lois de la nature (CHENERY.H.B, 1949). "Les modèles sont des caractérisations simplifiées de la réalité" (TIETENBERG, 1988). Dans ce sens, pour construire un modèle, nous devons admettre un certain nombre d'hypothèses nous permettant de faire des simplifications des phénomènes observés (Maria BLANCO, 1995).

Le choix du modèle à utiliser se fera selon les questions particulières à éclaircir et le type d'information dont nous disposons :

A - L'analyse économétrique

L'approche économétrique conventionnelle repose sur l'emploi conjugué de l'inférence statistique et de forme analytique prédéterminée, or cette démarche pose deux types de problèmes :

D'une part, un nombre limité d'observations dans les échantillons des firmes peut empêcher l'estimation des paramètres de fonction (car le nombre de paramètres doit être inférieur à celui des observations) surtout dans le cas de certaines formes analytiques. D'autre part, il est parfois difficile de garantir le caractère aléatoire de certains échantillons. En plus, faire appel à l'inférence statistique, oblige le modélisateur à synthétiser l'information pour ne pas être contraint par le nombre de degrés de liberté du modèle. Or ces agrégations supposent que l'on connaisse les fonctions de productions sous-jacentes permettant d'obtenir les optima techniques (BOUSSEMART J.P.; FLICHTMAN G. ; JACQUET F. et LEFER H.B.,1994).

¹ Le projet POLEN, "Analyse des impacts socio-économiques des différentes politiques dans certaines régions européennes : compétitivité et protection de l'environnement", est en train de se développer actuellement par des chercheurs travaillant dans cinq pays différents de l'Union Européenne, dont le coordinateur scientifique est Guillermo FLICHTMAN.

B - Modèle de programmation mathématique

Dans ce contexte, nous ne raisonnons plus en terme d'efficacité relative au sein d'un échantillon, mais plutôt en terme d'optimisation qui consiste dans la recherche d'un niveau aussi élevé que possible pour les activités présentant des avantages nets positifs et le plus bas possible dans le cas contraire.

La réussite d'un tel modèle, dépendra de l'information technique et économique dont nous disposons. Pour cela, nous ferons appel à un modèle de simulation agronomique afin qu'il nous fournisse toutes les informations dont nous aurons besoin, selon bien sûr les objectifs que nous visons.

"En économie, les modèles utilisés sont toujours des modèles mathématiques : une formule mathématique lie des variables exogènes et permet d'en déduire les valeurs numériques prises par les variables endogènes. Dans la plupart des cas, de nombreuses variables interagissent entre elles, et sont liées par de multiples relations" (BOUSSARD et DAUDIN - 1988). Bien entendu, aussi développé soit-il, un modèle n'arrive jamais à reproduire la réalité dans toute sa complexité, toutefois, il permet une approximation des phénomènes réels, et connaissant les hypothèses sur lesquelles il repose, il peut être considéré comme un moyen très utile pour l'analyse économique.

III - Les modèles de simulation de croissance des plantes

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

Cependant, certains chercheurs ont commencé à prendre en compte le long terme dans leurs analyses, afin que l'avenir ne soit pas hypothéqué. D'un côté, les différents phénomènes végétaux (physiologie des plantes, réponse aux diverses caractéristiques des sols, aux conditions climatiques, etc..) et le comportement des ressources (surtout les aspects concernant la fertilité des sols et la dynamique de l'eau dans le sol) étaient connus. D'un autre côté, le progrès en matière d'informatique a permis le développement de calculs de plus en plus complexes et utilisables sur des ordinateurs personnels. La conjugaison de ces deux facteurs, a permis de rendre envisageable l'élaboration de logiciels de simulations de la croissance des plantes relativement au comportement de la ressource sol. Ces logiciels contiennent donc des fonctions de productions très complexes, (VICIEN C, 1989).

Le premier processus modélisé a été celui du comportement physiologique des plantes. Par exemple, le développement de la superficie foliaire, ou l'enracinement, était estimé en fonction de certaines variables exogènes comme la température, la pluviométrie, l'humidité, l'irradiation solaire, etc..., prises indépendamment les unes des autres. Ces modèles essayaient de reproduire les comportements de certaines cultures. Ils étaient validés, par la confrontation des résultats expérimentaux et de la simulation. L'objectif final était d'accélérer le processus de connaissance scientifique de la dynamique : certaines hypothèses expérimentales pouvaient dès lors être testées préalablement à leur application.

Plus tard, les modèles furent élargis en incorporant certains processus relatifs à la ressource sol, qui étaient auparavant traités de manière exogène, "la mécanique des nutriments et de l'eau, l'influence de la pluviométrie et des vents sur les aspects physiques, les effets des différents systèmes de production et des rotations sur l'érosion, la pollution, etc". De plus, un éventail de possibilités plus large était offert, "plusieurs types de cultures et des rotations pouvaient être intégrées dans une même simulation". Rendus viables par ces différentes ouvertures, ces modèles peuvent être utilisés pour combler les lacunes des données concernant le comportement joint à long terme à la ressource sol et aux rendements (DEYBE D, 1992).

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

C'est dans ce même ordre d'idée que nous avons décidé d'utiliser dans notre travail le modèle EPIC "Erosion Productivity Impact Calculator" qui est un modèle développé depuis 1981 par les chercheurs de la station expérimentale de Blacklands au Texas (Etats-Unis) Université Texas A & M.

Selon PUTMAN et DYKE (1987), EPIC est un modèle sophistiqué de fonction de production qui simule l'interaction entre le processus du sol, du climat, de la plante, et de la conduite des cultures dans la production agricole. En effet, ce type de modèle de simulation peut être employé pour l'évaluation de différents systèmes de production agricole, pour l'estimation des résultats des diverses techniques culturales, pour la prédiction des rendements dans différentes régions, pour l'ajustement de certaines techniques comme l'irrigation ou la fertilisation et, enfin pour l'évaluation de la dégradation du sol à cause de l'érosion et des systèmes de culture qui supposent une utilisation trop intensive du sol (Carmen VICIEN, 1989).

Les composantes d'EPIC sont réunies en 8 sous-modèles interdépendants qui permettent de simuler : le climat, l'hydrologie, l'érosion, le cycle de nutriments, la croissance des plantes, les propriétés du sol, les itinéraires techniques de chaque culture et le contrôle de l'environnement des cultures (Williams, Jones et Dyke, - 1988).

"Les différents modules (sol, climat, itinéraires techniques, cultures et rotations) sont composés de multiples fonctions liées entre elles à l'intérieur de chaque module et entre les modules. A partir des données réelles (ou simulées à partir des moyennes régionales) concernant le climat (température, pluviométrie, humidité; etc.), le comportement du sol est estimé en tenant compte du type d'itinéraire technique (la gestion du sol). Cette simulation donne une indication sur les disponibilités en nutriments et en eau pour la plante. La croissance de la plante est donc estimée en fonction de deux grands types de variable : celles qui concernent le climat (température, radiation solaire, humidité ambiante, etc.), celles qui décrivent les caractéristiques du sol (teneurs en nutriments et en eau) et celles qui décrivent la gestion du sol. La croissance est estimée pendant la période végétative et, quand la plante atteint le niveau de maturité, la récolte est simulée et le rendement estimé comme une proportion de la biomasse produite" (DEYBE D, 1992).

Les résultats obtenus avec EPIC comprennent, entre autres, les rendements des cultures, les stress (d'eau, de température, d'azote, de phosphore) subis par les végétaux et la perte du sol due à l'érosion. Les résultats peuvent être générés d'une façon journalière, mensuelle ou annuelle.

Comme le souligne Vicien (1989), "ce type de modèle de simulation peut être employé pour l'évaluation de différents systèmes de production agricole, pour l'estimation des résultats des diverses techniques culturales, pour la prédiction des rendements dans différentes régions, pour l'ajustement de certaines techniques comme l'irrigation ou la fertilisation et, enfin, pour l'évaluation de la dégradation du sol à cause de l'érosion et des systèmes de culture qui supposent une utilisation trop intensive du sol". Un des handicaps du modèle est la simulation des traitements phytosanitaires, en effet, il ne permet pas de tenir compte, d'une façon satisfaisante, des effets des maladies sur les rendements. Après la calibration du modèle aux différentes cultures et afin de répondre aux contraintes agronomiques de rotation, nous avons associé à chaque activité son précédent cultural.

Etant donné que le modèle est de type récursif, "les résultats de l'année n génèrent une partie des coefficients techniques nécessaires à l'optimisation de l'année n + 1", il nous permettra de percevoir l'influence du précédent cultural sur les rendements de la culture de l'année.

IV - La programmation multiobjectif ²

La multiplicité des objectifs visés d'une part et leurs natures conflictuelles de l'autre nous ont guidé vers l'adoption du paradigme multicritère qui est fondé sur les considérations suivantes :

1. Plusieurs critères sont pris en considération
2. Ces critères sont en général conflictuels
3. Ils tendent à réaliser des arbitrages et à faire succéder des compromis.
4. Ces compromis ou arbitrages ont pour objet de conférer aux critères des valeurs qui se trouvent compatibles avec une certaine forme d'équilibre.

² La présentation de la Programmation Multiobjectif est basée sur le contenu du cours de ZEKRI Slim effectué à l'IAM en Mars 1994.

La date 1972 peut être retenue comme étant celle du réel démarrage de l'idée multicritère, cette émergence ne s'est d'ailleurs pas faite sans mal, car le paradigme dominant était alors celui de la recherche opérationnelle qui posait comme principe "la recherche d'une décision optimale maximisant une fonction économique". (POMEROL J.C. et ROMERO S.B. 1993). Comme le note ROY B (1987 b), "ce paradigme, largement inspiré de la physique, fut un modèle pour les économistes et se trouve sous-jacent dans plusieurs domaines des sciences humaines. Ce paradigme, culturellement très puissant, domine encore de nos jours la pratique de nombreux ingénieurs et les programmes de nombreuses Ecoles et Universités".

Il faudra encore beaucoup de temps pour que le monde admette que l'homme, et plus généralement le vivant, est différent des systèmes mécaniques.

Par contre, il est intéressant de remarquer que plusieurs notions utilisées dans les méthodes d'aide multicritère à la décision proviennent de théories diverses et parfois fort antérieures à la recherche opérationnelle. On peut faire remonter l'origine de la théorie de l'utilité multi-attribut aux travaux de Bernouilli et la théorie de l'utilité du XVIIIe siècle (JACQUET-LAGREZE, 1983).

Les premières méthodes de l'aide multicritère à la décision, ont eu pour objet de pallier les insuffisances du calcul économique classique et de la recherche opérationnelle et se sont surtout occupées des problèmes à décideur unique. Par la suite, elles ont élargi leur champ d'application à des problèmes à décideurs multiples. En outre, l'évolution constatée montre qu'on est parti des méthodes recherchant la meilleure modélisation possible des critères multiples pour aller vers des méthodes cherchant la meilleure modélisation possible des processus de décision (SIMOS J, 1989).

1- Critiques aux paradigmes traditionnels de la prise de décision

Les paradigmes traditionnels de prise de décision dans le sens de KHUN supposent l'existence de trois éléments.

1. L'existence d'un centre de décision.
2. L'existence d'un ensemble d'alternatives ou de décisions faisables.
3. L'existence d'un critère de décision bien défini tel que les fonctions d'utilité ou fonctions qui mesurent le bénéfice .

Les critères de décisions associent le critère de sélection à chaque alternative (associent à chaque alternative une valeur numérique). La solution optimale est recherchée entre les solutions faisables. Bien que ce paradigme soit correct du point de vue logique, il ne reflète pas les décisions réelles, car les centres de décisions ne cherchent pas à classer les alternatives en fonction d'un critère unique, mais de plusieurs, tel que maximiser les bénéfices, maximiser les ventes et maximiser la croissance.

Un problème de décision apparaît quand il y a différents objectifs simultanément. Une décision est une conclusion logique de la résolution d'un problème et la prise de décision malheureusement n'a pas toujours un caractère automatique. Pour qu'une décision intervienne, il faut qu'il y ait deux ou plusieurs possibilités. Par l'intermédiaire de la technique de programmation multiobjectifs, on va chercher à déterminer toutes les solutions optimum Pareto.

2 - L'optimalité paretienne (dans le sens de Pareto)

La théorie de décision multicritère est basée sur l'optimalité paretienne. L'ensemble des solutions efficientes (Pareto optimum = Non dominées = Non inférieures) sont les seules et uniques qui permettent d'atteindre des valeurs égales ou meilleures pour tous les critères considérés et une valeur supérieure au moins pour un critère.

Exemple: Modalité de choix entre diverses solution

	Z1 (X) = Marge Brute à maximiser (UM)	Z2 (X) = Saisonnalité à minimiser (H)	Z3 (X) = Endettement à minimiser (UM)
Y1	200000	500	50000
Y2	200000	600	60000
Y3	300000	600	60000

Yi constitue la i^{ème} solution, par contre Zj correspond au j^{ème} objectif .
 On voit que Y2 est dominée par Y1 et Y3 donc la solution Y2 est à éliminer.
 Y1 et Y3 sont des solutions incomparables, ce sont deux solutions d'optimum de Pareto.
 L'analyste doit déterminer l'ensemble des solutions optimales.
 Le concept de l'optimalité Parétienne :

soit la solution V1 [Z1 (y1), Z2(y1)] et la solution V2 [Z1 (y2), Z2(y2)] on peut dire que V1 est meilleur que V2 si et seulement si :

Z1(y1) ≥ Z1(y2) et Z2(y1) > Z2(y2) ou bien Z1(y1) > Z1(y2) et Z2(y1) ≥ Z2(y2)
 Si on a Z1(y1) > Z1(y2) et Z2(y1) < Z2(y2) dans ce cas, il n'y a pas d'ordre de différence.

Notion d'optimalité de trade off ou substitution :

Le taux de substitution entre deux objectifs, mesure le sacrifice nécessaire dans un critère pour pouvoir compensé une augmentation unitaire dans la réalisation d'autres objectifs, si on a deux solutions efficientes, y1 et y2,, correspondant au deux objectifs Z1 et Z2 , on le calcule de la façon suivante :

$$T 12 = \frac{Z1(y1) - Z1(y2)}{Z2(y1) - Z2(y2)}$$

Application du trade off à l'exemple du tableau n°1 :

$$T 13 = \frac{300\ 000 - 200\ 000}{600 - 500} = 1000$$

Ce taux indique dans ce cas que si on diminue une heure (H) de saisonnalité, on perd 1000 Unités Monétaires (UM).

3 - Méthode de programmation multiobjectif [multiobjectif programming (M.O.P)]

Chercher les solutions efficientes :

Z(x) = [Z1(x), Z2(x),....., Zq(x)]
 Z(x) constitue la somme des q objectifs variant de Z1 à Zq

Pour établir un modèle de programmation multicritère, il faut établir la matrice Pay-off ou matrice des idéals et des anti-idéals, elle est obtenue en optimisant chacun des objectifs considérés dans notre modèle tout en gardant les mêmes contraintes.

Exemple : Présentation d'une matrice de Pay-off

	Marge brute (UM)	Main-d'oeuvre (H)
Maximiser Marge brute	200000	10000
Minimiser Main-d'Oeuvre	50000	2000

L'idéal est déterminé par la diagonale de la matrice de Pay-off de 200000 unités monétaires et 2 000 heures de travail, sauf que l'idéal n'est pas une valeur réalisable. L'idéal est toujours souligné par la diagonale de pay-off ce qui n'est pas le cas de l'anti-idéal.

La matrice nous renseigne sur le degré de conflit ou le degré de complémentarité, elle renseigne aussi sur les intervalles de variation dans lesquels peut varier un objectif considéré.

Plusieurs modes de résolutions existent ; pour le présent travail, on va utiliser la méthode NISE, complétée par la méthode des compromis.

Algébriquement, l'approche multiobjectif se traduit par :

$$\text{Max } W_1 Z_1 (X) + W_2 Z_2 (X) + W_3 Z_3 (X) + \dots + W_p Z_p (X)$$

tel que :
$$Z_q = \sum_{j=1}^n C_{qj} \cdot X_{qj}$$

Sous contraintes

$$\begin{aligned} W_q &\geq 0 \\ a_{qij} &\leq b_{qi} && \text{pour } i=1, \dots, m \\ X_{qj} &\geq 0 && \text{pour } j=1, \dots, n \end{aligned}$$

Dans laquelle :

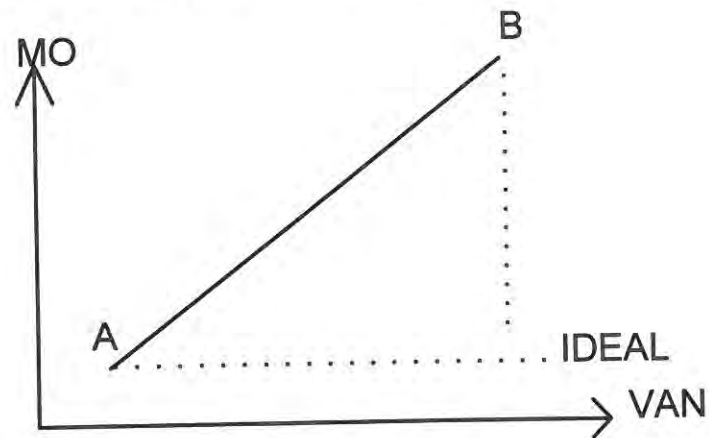
Z_q = fonction objectif q
 X_{qj} = le niveau de l'activité j
 C_{qj} = marge directe d'une unité de l'activité j [degré d'érosion ou de pollution causé par telle culture ou techniques culturales, engendré par des engrais ou pesticides épandus].

a_{qij} = la quantité de ressource i nécessaire pour produire une unité de l'activité j
 b_{qi} = la quantité de ressource i disponible.
 W = le coefficient de pondération

A - Méthode N.I.S.E (No Inferior Set Estimation).

Cette technique a l'avantage de faire l'approximation des solutions extrêmes efficaces. Elle permet d'optimiser à la fois 2 à 3 objectifs simultanément.

En partant de la pente entre les deux points extrêmes efficaces, on détermine le 3^{ème} point puis le 4^{ème}, ainsi de suite, jusqu'à trouver tous les points extrêmes efficaces.

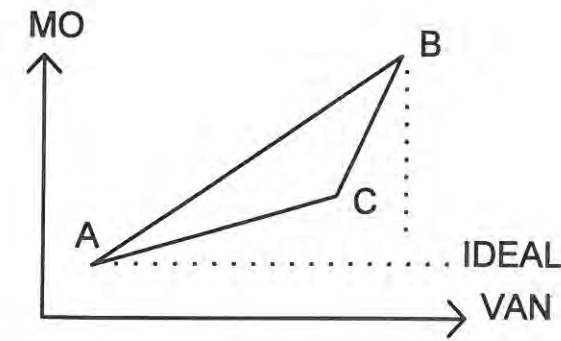


La pente = $W_1 / W_2 = T_{12} = \frac{Z_1^* - Z_{*1}}{Z_2^* - Z_{*2}} = a$, on pose $W_2 = 1$ et $W_1 = a$

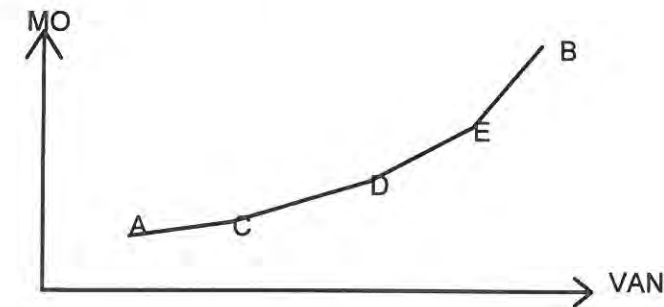
La résolution de ce modèle après la détermination du coefficient de pondération à partir des deux premières solutions extrêmes efficaces A et B issues de la *matrice Pay-off*, nous permet de déterminer une solution extrême efficace C, située entre ces 2 points A et B.

Détermination du premier coefficient pondération à partir de la matrice de pay-off citée en exemple:

$W_1 / W_2 = T_{12} = \frac{10000 - 2000}{200000 - 50000} = 0.00533$ d'où on a $W_1 = 1$ et $W_2 = 0.00533$



Par la suite, on effectue le même travail entre AC et CB, et on continue ce processus jusqu'à l'obtention de toutes les solutions extrêmes efficaces de telle manière qu'il n'existe aucune autre solution qui permette d'atteindre des valeurs égales ou meilleures pour tous les critères considérés et une valeur supérieure au moins pour un critère.



Une fois l'ensemble des solutions extrêmes efficaces déterminé, c'est au centre de décision de choisir l'une d'elles selon des critères de choix qui lui sont propres.

B - Programmation par compromis "Compromise Programming"

Vu le nombre important de solutions obtenues à partir de la méthode NISE, une sélection s'impose afin de restreindre l'espace des solutions possibles et de faciliter la tâche du centre de décision.

Sur quelle base pouvons-nous réduire cet ensemble de solution ?

Tout centre de décision rationnelle chercherait à se rapprocher de la solution idéale, pour cela, on va introduire le concept de famille des distances.

Dans un plan cartésien, et selon le théorème de Pythagore, la distance la plus courte entre deux points

$X^1 (X_1^1, X_2^1)$ et $X^2 (X_1^2, X_2^2)$ est :
 $d = [(X_1^1 - X_1^2)^2 + (X_2^1 - X_2^2)^2]^{1/2}$

mais cette notion de distance peut être élargie à un espace de n solutions où la distance la plus courte sera:

$d = [\sum_{j=1}^n |X_j^1 - X_j^2|^2]^{1/2}$

Cette notion de distance a été élargie par MIRANOVSKI qui a introduit la notion des distances métriques :

$$L_p = \left[\sum_{j=1}^n |X_j^1 - X_j^2|^p \right]^{1/p} \text{ avec } p \in [1, +\infty[$$

plus la valeur de p augmente, plus on diminue la distance séparant les points et on s'approche du point idéal. Sauf que dès qu'on dépasse une valeur de $p = 3$, on ne peut plus fournir d'interprétation géométrique.

Ex "ROMERO C ; REHMAN T, 1989"

pour deux points de coordonnées respectives $X_1(2,3)$; $X_2(10,8)$.

$$L_1 = [|2 - 10| + |3 - 8|] = 13$$

$$L_2 = [|2 - 10|^2 + |3 - 8|^2]^{1/2} = 9,43$$

$$L_3 = [|2 - 10|^3 + |3 - 8|^3]^{1/3} = 8,60$$

$$L_8 = [|2 - 10|^8 + |3 - 8|^8]^{1/8} = 8,02$$

$$L_\infty = \text{Max} [|2 - 10| ; |3 - 8|] = 8$$

A mesure que p augmente, on donne plus d'importance aux déviations les plus grandes et par conséquent, moins de poids pour les déviations les plus courtes

L'utilisation de la notion de distance métrique lors de notre travail nous permettra de trouver le segment entre les deux points $[Z(L_1), Z(L_\infty)]$ comprenant l'ensemble des points les plus proches de la solution idéale, ce segment s'appelle "compromise set".

$$L_p(Z) = \left[\sum_{j=1}^n |(Z_j^* - Z_j(x)) / (Z_j^* - Z_{*j})|^p \right]^{1/p}$$

où w_j représente la pondération affectée au j ième objectif. $(Z_j^* - Z_{*j})$ constitue un coefficient de normalisation.

- pour le cas où $p = 1$, on cherchera à minimiser la somme des déviations donc :

$$\text{Min } L_1 = w_1 |(Z_1^* - Z_1(x)) / (Z_1^* - Z_{*1})| + |(Z_2^* - Z_2(x)) / (Z_2^* - Z_{*2})|$$

- pour le cas où $p \rightarrow \infty$, on cherchera à minimiser la déviation maximale donc :

Minimisé D

S/C

$$w_1 |(Z_1^* - Z_1(x)) / (Z_1^* - Z_{*1})| \leq D$$

et

$$w_2 |(Z_2^* - Z_2(x)) / (Z_2^* - Z_{*2})| \leq D$$

Chapitre III - Déterminant des coefficients techniques

I - Le modèle de simulation EPIC

1 - La construction d'un modèle de base

Bien que la simulation parfaite de la réalité demeure irréaliste, certains modèles sont cependant parvenus à travers une intégration d'un grand nombre de facteurs et de cultures, à s'en approcher considérablement. Ceci dans le but d'évaluer les différents systèmes de production et de techniques culturales, afin d'estimer les rendements, d'ajuster les techniques adoptées comme l'irrigation et la fertilisation et de faciliter l'évaluation des répercussions des techniques réelles et potentielles sur le patrimoine sol.

Dans le cadre de notre recherche, nous ne tiendrons compte que des résultats se rapportant aux rendements des cultures, à la percolation des nitrates et à l'érosion, afin d'assurer une bonne cohérence de ces résultats. Il a été indispensable de disposer de données complètes et précises relatives au climat, au sol, aux itinéraires techniques, etc.

* **Le climat** : nous avons tenu compte des données climatiques journalières relatives à la température maximale et minimale, la pluviométrie, les précipitations de moins d'une demi-heure, l'humidité et la radiation solaire correspondante aux quinze dernières années (1980-1994).

* **Le sol** : sur la base des analyses de sol réalisées suite au prélèvement que nous avons effectué sur l'exploitation, nous avons défini pour chaque horizon la granulométrie, la concentration de l'azote organique, des nitrates et du carbone organique, le PH, les complexes absorbants, la capacité au champ, le point de flétrissement, les résidus de culture et la présence de phosphore.

* **Les itinéraires techniques** : consistent à reproduire le déroulement dans le temps des travaux agricoles. Ainsi, sont pris en compte : les travaux du sol, le matériel utilisé, les opérations phytosanitaires, d'irrigations et de fertilisation avec leur date d'application et leur dose respective.

* **Les paramètres physiologiques** : il s'agit de l'ensemble des paramètres décrivant le comportement des variétés culturales considérées compte tenu des conditions naturelles de la zone. Après avoir introduit toutes ces données dans le modèle, on va essayer de le calibrer de sorte qu'il reproduise la réalité du moins à s'en approcher le plus près possible.

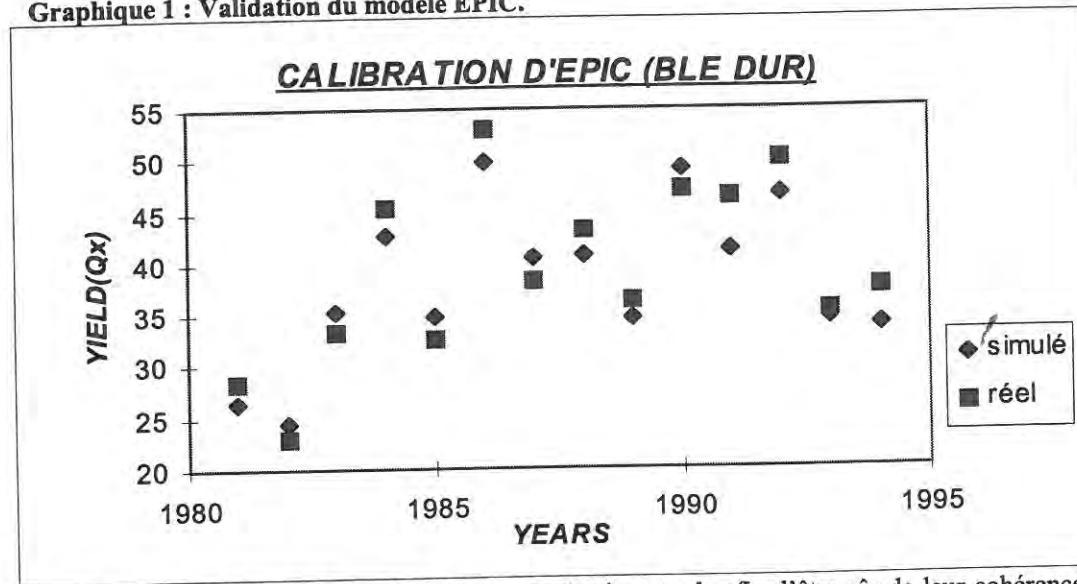
2 - La validation du modèle EPIC

Comme nous l'avons déjà signalé, il s'agit ici de la tâche la plus délicate lors d'une utilisation d'un modèle de simulation agronomique, cette opération consiste à simuler les pratiques culturales courantes et à comparer les résultats émanant de ces simulations à ceux réellement obtenus sur l'exploitation.

Pour commencer, nous avons introduit dans le modèle, l'itinéraire technique réel relatif à la culture du blé dur non irrigué (afin de nous apercevoir de la sensibilité du modèle face aux variations climatiques) et nous l'avons fait tourner sur les quinze années climatiques considérées.

La comparaison entre les données simulées et les données réelles, nous a montré qu'ils sont assez cohérents et que le modèle représente assez fidèlement les conditions pédoclimatiques de la zone considérée.

Graphique 1 : Validation du modèle EPIC.

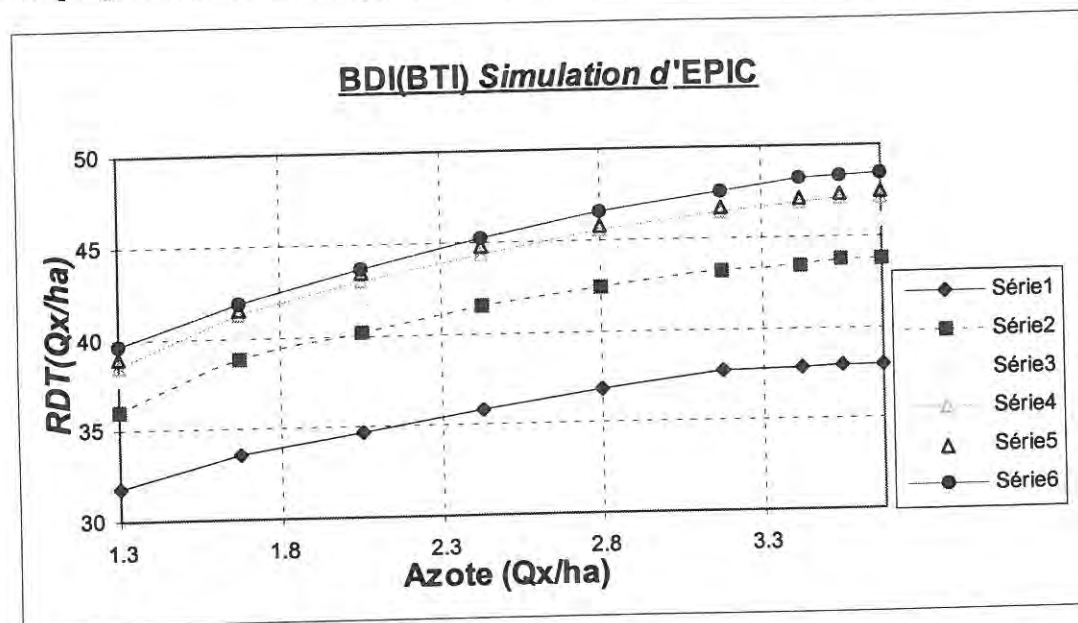


Ce même travail a été refait pour toutes les cultures pratiquées et cela afin d'être sûr de leur cohérence avec la réalité de leur exploitation.

3 - L'utilisation du modèle comme fonction de production

Après avoir validé le modèle, nous avons effectué différentes simulations pour l'obtention des coefficients techniques nécessaires à l'analyse économique. En effet, en partant des techniques pratiquées sur l'exploitation, une multitude de niveaux d'intensification relative à la fertilisation azotée et à l'irrigation ont été considérés, c'est ce qui nous a permis d'obtenir une multitude de résultats portant sur l'univers potentiel des techniques. A titre d'exemple, le graphique 2 reflète les effets sur le rendement que pourraient avoir les différents niveaux de fertilisation et d'irrigation considérés pour la culture du blé dur.

Graphique 2 - Résultats de l'application du modèle EPIC pour la culture BDI (BTI):



En plus de la croissance des rendements en fonction de l'augmentation des apports, nous remarquons, ci-dessus, l'existence d'une courbe de réponse correspondant à chaque niveau d'irrigation (série), qui comprendra des rendements d'autant plus élevés que le niveau d'irrigation augmente, démontrant ainsi le rôle décisif de l'eau comme facteur de production étant donné qu'il permet l'assimilation par les plantes des différents éléments nutritifs.

II - Analyse des résultats des simulations

1 - Choix des techniques

Les différentes simulations effectuées par le modèle, nous ont permis d'obtenir une multitude de paramètres techniques concernant un large éventail de techniques de production, toutes efficaces du point de vue agronomique.

Afin de garantir le bon choix des techniques, on va définir les activités comme des cultures avec une technique de production associée, et parmi ce vaste éventail de technique potentiel pour chaque culture considérée, nous avons cru pertinent de faire notre choix selon des critères d'ordre économique "Charges variables" et environnemental "Percolation des nitrates et Erosion".

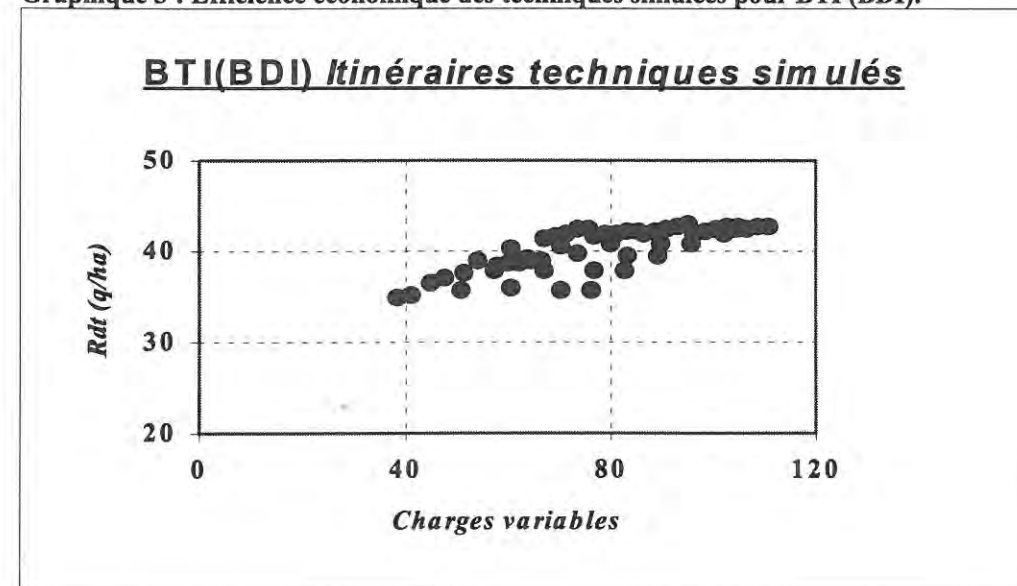
a - Critères d'ordre économique

A ce niveau, il s'agit de voir l'efficacité des différentes techniques de production qui représentent les différents niveaux d'intensification et cela en tenant compte du fait que la notion d'efficacité dépend du contexte dans lequel une technique donnée est susceptible d'être employée. Pour cela, la sélection des techniques efficaces est très difficile. L'expérience démontre que les spécialistes ont souvent tendance à fournir un éventail de techniques possibles beaucoup trop restreint lorsqu'ils recherchent les solutions applicables a priori à un problème donné de choix technologique. Dans la plupart des cas, ils envisagent un petit nombre de possibilités qui sont très loin de recouvrir l'ensemble des techniques efficaces. Il en résulte que les solutions "optimales" obtenues sont souvent loin d'être aussi bonnes qu'il se pourrait (BOUSSARD et DAUDIN, 1988).

Dans le cas de notre étude, la première sélection des techniques efficaces se fera selon un critère d'efficacité économique basé sur la structure des prix relatifs aux facteurs de production variables "l'irrigation et la fertilisation azotée".

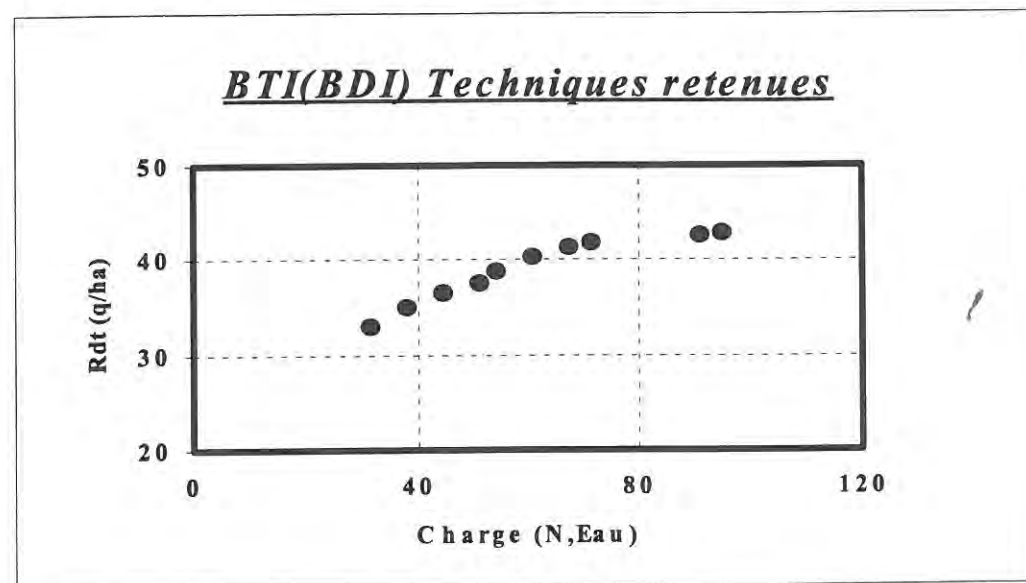
Soit T_i ($i = 1, 2, \dots, k, n$) un ensemble de techniques de production, et C_i les coûts de production variables par hectare associés à ces techniques. On considère que la technique T_k est efficace si toutes les techniques T_i telles que $C_i < C_k$ produisent des rendements $Y_i < Y_k$. En d'autres termes, on peut dire que les techniques efficaces sont celles qui, pour une structure de prix donnée, produisent un rendement plus élevé que toute autre technique ayant un coût de production par hectare inférieur ou égale (FLICHMAN, 1990).

Graphique 3 : Efficacité économique des techniques simulées pour BTI (BDI).



Comme nous l'avons annoncé, cette technique de sélection nous permet d'obtenir la frontière de techniques apparemment efficaces, vu que chacune d'elle a la possibilité d'être choisie dans la solution finale et cela selon un environnement économique déterminé.

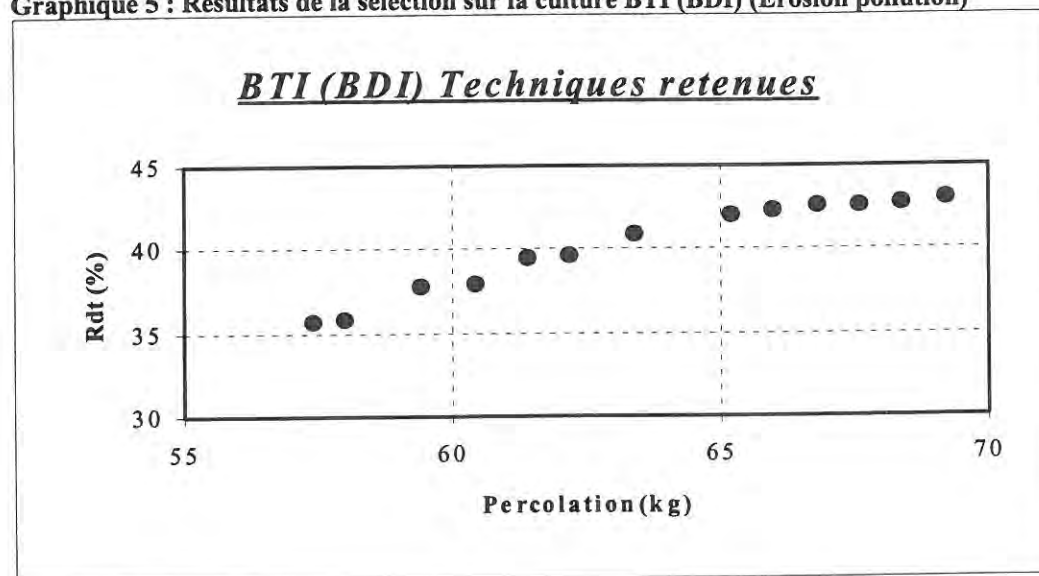
Graphique 4 : Résultats de la sélection sur la culture BTI (BDI) (charges variables).



b - Critères d'ordre environnemental "Percolation, Erosion"

Il s'agit à ce niveau d'effectuer un choix selon un critère environnemental, plus précisément selon le niveau de Percolation des Nitrates (P) et d'érosion (E), c'est-à-dire une technique T_k sera efficace si et seulement si toutes les techniques T_i tel que $P_i < P_k$ ou $E_i < E_k$ produisent des rendements $Y_i < Y_k$, ainsi, l'ensemble de techniques efficaces sera celui des techniques produisant un rendement plus élevé que toute autre technique ayant un niveau par hectare de percolation de nitrates ou d'érosion inférieure.

Graphique 5 : Résultats de la sélection sur la culture BTI (BDI) (Erosion pollution)



III - Les limites du modèle EPIC

La version d'EPIC que nous avons utilisée tout au long de notre travail "EPICPHASE" améliorée à l'INRA de TOULOUSE ne considère plus les besoins en eau d'une façon globale tout au long du cycle végétatif, mais selon les différentes phases de croissance de la plante, et ceci afin de remédier à son principal inconvénient, qui est, la répartition des périodes d'irrigation, c'est ce qui nous a permis de trouver la meilleure répartition possible des périodes d'irrigation de façon à limiter le stress hydrique et contribuer à mieux optimiser l'utilisation de l'eau.

Cependant, d'autres problèmes persistent, on peut principalement en citer deux :

* L'incapacité d'EPIC à simuler les associations des cultures pratiquées pour l'affouragement des ovins et des bovins telles que la Vesce-Avoine et la Vesce-Avoine Triticale, et pour y remédier, on a été obligé de simuler chacune de ces cultures à part, tout en respectant l'itinéraire appliqué pour l'association. Par la suite, on a fait la sommation des résultats des sorties tout en respectant les proportions appliquées sur l'exploitation.

* D'autre part, EPIC n'est pas adapté à simuler les cultures ayant un important développement racinaire comme celui de la betterave à sucre, c'est ce qui nous a empêché de valider le modèle pour cette culture. Pour remédier à ce problème et sous le conseil des spécialistes¹, nous avons utilisé des données issues des expériences agronomiques couplées avec des résultats réels collectés sur l'exploitation. Certes l'information dont on dispose est moins riche que pour le reste des cultures, sauf que cette façon de procéder nous a semblé plus judicieuse que d'exclure cette culture de notre analyse.

¹ Grâce à l'aide considérable apportée par Cabelguenne M et Debaeke M (chercheurs à l'INRA de Toulouse), nous avons réussi à bien développer cette partie.

Chapitre IV - Variables et contraintes du modèle

La situation de l'exploitation représentée à travers le modèle multicritère comporte les inconnues du problème à résoudre, et sa résolution va traduire les choix de production et les techniques adoptées, compte tenu des disponibilités en facteur de productions.

I - Les activités productives

Les activités productives sont représentées par :

1. les activités végétales
2. les activités animales
3. les activités de services

1 - Les activités végétales

Sachant que les cultures en sec et celles en irrigué sont pratiquées sur deux types de sol différent, on n'a pas cherché à spécifier le type de sol, étant donné que le fait de dire que telle culture est pratiquée en sec ou en irrigué, nous renseigne directement sur le type de sol utilisé. Par contre, chaque activité de production, $X_{C, T, PC}$ est définie en fonction de :

C : Culture : Blé dur en sec (BDS), Blé dur en irrigué (BDI), Blé tendre en sec (BTS), Blé tendre en irrigué (BTI), Betterave à sucre (BSI), Triticale en sec (TRS), Triticale en irrigué (TRS), Orge en grain (ORG), Orge en vert (ORV), Colza (CLZ), Vesce en sec (VES), Avoine en sec (AVS), Vesce-Avoine irrigué "ensilage" (VTI), Vesce-Avoine en sec "ensilage" (VAS), Vesce-Avoine Triticale en sec "ensilage" (VTS), Vesce-Avoine en sec "foin" (VAF), Vesce-Avoine-Triticale en sec "foin" (VTF), Vesce-Avoine en irrigué "foin" (VAO), Vesce-Avoine-Triticale en irrigué "foin" (VTO).

T : Niveau d'intensification de la production (6 à 11 niveaux de fertilisation azotés ont été considérés, combinés pour les cultures irriguées avec 6 niveaux d'irrigation) (voir annexe 2).

PC : Précédent cultural.

A - Inventaire des coefficients technico-économiques

Le nombre d'activités végétales retenues est de 412 (sans compter les combinaisons possible lors de la rotation des cultures. (voir annexe 2). L'inventaire des coefficients technico-économiques retenu a été établi aussi bien sur la base des normes régionales, que sur la base de données issue de la reconstitution des fiches technico-économiques des différentes spéculations pratiquées sur l'exploitation.

2 - Activités animales

Du fait de ces caractéristiques évidemment dynamiques, il est relativement difficile d'incorporer l'élevage dans un modèle statique (BROSSIER J., 1979). Etant donné la monopériodicité de notre modèle, l'élevage sera considéré comme étant un moyen de production de produits finaux tel que le lait, la viande et le fumier et de produit intermédiaire tel que les veaux et velles.

A - L'élevage bovin

Cet élevage bovin est constitué par des vaches, des génisses, des veaux et des taurillons. Vu la variabilité de la nature de l'alimentation d'une catégorie à une autre, on a préféré traiter cet élevage séparément et ne pas considérer l'unité zootechnique (UGB).

Pour ce qui est de la production laitière, nous l'avons fixée à 4500 litres par vache et par lactation alors qu'elle est de 4300 litres par vache sur l'exploitation étudiée. Cette imperfection est a priori due à une alimentation déséquilibrée vue que la moyenne au niveau des autres coopératives régionales, est de 4849,8 litres par vache.

Tous les autres paramètres techniques utilisés proviennent des paramètres techniques de l'élevage observés sur l'exploitation soit :

1. Taux de réforme de 0,25 %
2. Taux de fécondité de 0,75 %
3. Taux de mortalité des jeunes insignifiant.

B - L'élevage ovin

Cet élevage est constitué par des brebis, béliers, antenais, antenaises, agneaux et agnelles. Pour le cas de cet élevage, tous les animaux ont le même type d'alimentation, c'est ce qui nous a permis de les agréger en unité gros bétail ovine (UGB).

Ce cheptel ovin est caractérisé par les paramètres techniques suivants :

1. Taux de réforme de 20 %
2. Taux de prolificité de 1,2 %
3. Ainsi qu'un taux de mortalité insignifiant.

C - Rationnement

Dans le but de garantir une ration optimale et de remédier aux imperfections alimentaires, on a choisi de formuler les besoins élémentaires des animaux ainsi que la valeur alimentaire des différents produits de fourrages et de mettre en concurrence ces derniers afin de satisfaire les besoins.

Cette formulation permettra de chercher l'adéquation permanente entre les besoins des animaux et les ressources alimentaires disponibles. Pour cela, on a reparti les animaux selon leurs besoins, la nature de l'alimentation et les périodes d'affouragement.

Tableau 3 : Calendrier fourrager

Animaux	Aliments	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout.	Sep.
Vaches laitières	Foin VA	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Foin VAT	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Ensilag VA	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Ensilag VAT	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Pulpe de Bet.	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Concentré 1 Concentré 7	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Génisses	Foin VA	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Foin VAT	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Ensilag VA	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Ensilag VAT	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Concentré 1 Concentré 7	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Taurillons	Paille	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Pulpe de Bet.	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Ensilag VA	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Ensilag VAT	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Veaux et Velles	Foin VA	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Foin VAT	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Concentré 1	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Concentré 7	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Ovins	Ensilag VA	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Ensilag VAT	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Foin VA	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Foin VAT	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Pulpe de Bet.	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Orge en Vert	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Concentré 1	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Concentré 7	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Paille	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Les différents apports alimentaires seront définis selon leur consistance en unité fourragère Lait (UFL), en unité fourragère viande (UFV), en matière azotée digestible (MAD) ainsi que leur teneur en matière sèche (MS).

3 - Les activités de service

A - Activités "Achats"

Elles concernent l'approvisionnement de l'exploitation à partir de l'extérieur en facteur de productions, telles que les semences, les fertilisants, les produits phytosanitaires, les concentrés, l'eau d'irrigation, etc...

B - Les activités "Ventes"

Elle se rapporte aux produits de la ferme aussi bien de type animal que végétal écoulés sur le marché ou cédés aux organismes étatiques de collecte et de stockage. Sont exclus de ces ventes les produits faisant l'objet de cession interne tel que les fourrages et une partie de la paille.

C - Les activités "Location"

On a défini les besoins en traction mécanique et en matériel de moisson par culture et par mois. A chaque fois que le besoin se fait sentir, il y a recours à la location de ces matériaux.

D - Recrutement de main-d'oeuvre

Pour pallier au insuffisances en main-d'oeuvre permanente, il y a recours à l'embauche d'une main-d'oeuvre occasionnelle.

II - Formulation des contraintes

Les contraintes traduisent la concurrence qui existe entre plusieurs activités ou variables pour l'emploi d'une ressource limitée ainsi que l'influence du choix d'un certain plan de production d'une année sur l'année qui suit.

1 - Les contraintes agronomiques

A - Occupation du sol

L'objet de cette contrainte est de limiter la somme des superficies consacrées aux différentes activités de production à une superficie inférieure ou égale à la SAU. En plus, les cultures pratiquées en irrigué ne doivent pas dépasser la superficie irrigable disponible. Ceci est conforme à la zone étant donné la quasi inexistence du marché foncier.

$$\sum X_{C,T,PC} \leq SAU \quad \text{et} \quad \sum X_{CI,T,PC} \leq SIR$$

SAU = Surface agricole util
SIR = Surface irrigué totale

B - Les rotations culturales

Elles expriment l'influence d'un plan de production d'une année sur l'année qui suit ; elles montrent que l'ensemble des superficies de l'année n, qui a pour précédent cultural la culture K, ne peut pas être supérieur à la superficie consacrée à cette même culture l'année n - 1.

C - Succession des cultures

Les règles de succession tiennent compte du fait que les cultures ne peuvent se succéder que selon un ordre déterminé pour éviter qu'il n'y ait d'incidence sur les rendements.

2 - Les contraintes : facteurs de production

A - L'eau

Pour les périmètres irrigués, l'eau constitue l'un des principaux facteurs limitant la production, du fait de la concurrence dont elle est l'objet entre les cultures et du volume disponible qui est fonction de la superficie susceptible d'être irriguée.

$$\sum X_{C,T,PC} * \text{conseau}(C,T) \leq \text{QEAU}$$

QEAU = Quantité d'eau disponible

Conseau(C,T) = Consommation d'eau par culture et par technique

B - La main-d'oeuvre

Du fait du caractère saisonnier de l'activité agricole, cette contrainte doit s'écrire non seulement pour chaque type de travail, mais encore pour chaque période de l'année susceptible de devenir un goulot d'étranglement pour l'utilisation de cet input. Ceci entraîne des nombreuses conséquences pour l'évaluation du coût d'opportunité des inputs agricoles (BOUSSARD J.M., 1987).

La variabilité climatique influe considérablement sur la possibilité de réalisation des travaux dépendant du milieu. Pour cela, nous avons considéré mensuellement, le nombre moyen de jours de travail disponibles ainsi que les besoins mensuels de jours de travail par culture.

Les mois où il y a un manque au niveau de la main-d'oeuvre permanente, on recrute de la main-d'oeuvre occasionnelle qui n'est pas limitante du fait que la région concernée souffre d'un fort chômage.

$$\sum X_{C,T,PC} * \text{BMOJ}(C,M) \leq \text{JTD}(M) + \text{MOO}(M)$$

BMOJ(C,M) = Besoin en MO par culture et par mois,

JTD(M) = Jours de travail disponible sur l'exploitation,

MOO(M) = MOO qu'il faudrait embauché par mois.

C - La traction mécanique

Au même titre que les besoins en main-d'oeuvre, les besoins en traction et de moissonneuse batteuse pour chaque activité et les disponibilités du parc sont exprimés en heure par mois. Lors des périodes de pointe où le parc disponible n'est plus suffisant, on a recours à la location auprès des sociétés de services.

$$\sum X_{C,T,PC} * \text{BHTPM}(C,M) \leq \text{HTPMD}(M) + \text{LTP}(M)$$

$$\sum X_{C,T,PC} * \text{BHTMB}(C,M) \leq \text{HTMBD}(M) + \text{LMB}(M)$$

BHTPM(C,M) = Besoin en heures de TP par mois et par cultures

HTPMD(M) = Heures de TP disponibles par mois sur l'exploitation

LTP(M) = Niveau de location de TP indispensable par mois

3 - Contraintes relatives à l'élevage

Le développement des activités animales est étroitement lié aux ressources fourragères. Cet élevage est valorisé par la production de betterave à sucre puisque l'usine de transformation de la betterave fournie gratuitement à l'exploitation de la pulpe de betterave à raison de 7 quintaux par hectare cultivé. Les ressources fourragères sont à déterminer par le plan de production en fonction de leur compétitivité avec les autres spéculations.

A - Besoins des animaux

Les besoins des différents animaux sont répartis selon leurs besoins énergétiques (UFL et UFV) et azotés (MAD).

* **Besoins en énergie** : L'unité de mesure énergétique des aliments fournie est l'unité fourragère lait (UFL) pour les vaches et les génisses et l'unité fourragère viande (UFV) pour l'engraissement.

* **Besoins azotés** : L'unité de mesure azotée que nous avons utilisée est la matière azotée digestible (MAD).

On note différents types de besoins alimentaires :

- les besoins d'entretien : ils constituent les besoins vitaux des animaux.

- les besoins de lactation : ils sont fonction de la production laitière, exprime en Kg de lait à 4 % de taux butyreux pour les vaches, soit 0,43 UFL et 60 gr de MAD par Kg de lait. Par contre, pour les brebis, ils sont estimés à 0,68 UFL et 104 gr de MAD par Kg de lait.

- les besoins de gestation : ils sont pris en compte les trois derniers mois de chaque gestation aussi bien pour les bovins que pour les ovins.

- les besoins de croissance : ils varient avec le type, l'âge et le poids de l'animal.

Tous ces besoins sont fournis à partir d'un rationnement de base composé de paille, foin, ensilage, pulpe de betterave et verdure à raison de 70 %, le reste des besoins soit 30 % sont satisfaits par l'apport du concentré. La satisfaction de ces besoins est l'objet d'une contrainte qui est la limite d'ingestion imposée par la capacité d'ingestion, de sorte que la quantité de matière sèche fournie par les aliments et par jour soit à la limite égale à la quantité maximale de matière sèche pouvant être ingéré.

Aussi bien la valeur alimentaire des aliments et leur teneur en matière sèche que les différents besoins des animaux et leur capacité d'ingestion nous ont été fournis à partir des "Tables des valeurs alimentaires des aliments utilisés en Tunisie dans l'alimentation du bétail" (ABDOULI H., KRAIEM K., 1989).

Exemple : si nous traitons les contraintes par rapport aux valeurs énergétiques :

$$\begin{aligned} & \text{CHEPIN}(\text{ANX}) * [\text{BESOINS}(\text{ANX}, \text{M}) + 30.5 + \text{BESGEST}(\text{ANX}) * \text{TXF}(\text{ANX}) + \\ & \text{BESLAIT}(\text{ANX}) * \text{TXF}(\text{ANX}) * (4500/12)] \leq \sum X_{CF,T,PC} * \text{YM}(\text{CF}, \text{T}, \text{PC}) * \text{MATSEC}(\text{CF}) * \\ & \text{CALAND}(\text{CF}, \text{M}, \text{ANX}) * \text{UFV}(\text{CF}, \text{ANX}) + \text{QCOM}(\text{COMPLE}, \text{M}) * \text{MATSEC}(\text{COMPL}) \\ & * \text{UFVC}(\text{COMPL}) \end{aligned}$$

CHEPIN(ANX) = cheptel initial par catégorie d'animaux

BESOINS(ANX,M) = Besoins d'entretien par catégories d'animaux

*BESGEST(ANX)*TXF = Besoins de gestation * Taux de fécondité*

BESLAIT(ANX) = Besoins en fonction de la production laitière

*YM(CF,T,PC)*MATSEC(CF) = Production moyenne * Taux de matière sèche par produit*

CALEND(CF,M,ANX) = Calendrier fourrager en fonction du produit, du mois et de l'animal.

QCOM(COMPLE,M) = Quantité de complément qu'on doit apporter par type de produit et par mois. l'autre contrainte alimentaire, c'est la capacité d'ingestion.

$$\sum X_{CF,T,PC} * \text{YM}(\text{CF}, \text{T}, \text{PC}) * \text{MATSEC}(\text{CF}) * \text{CALAND}(\text{CF}, \text{M}, \text{ANX}) + \text{COM}(\text{COMPLE}, \text{M})$$

**MATSEC(COMPL) ≤ CAPING(ANX) * CHEPIN(ANX)*

CAPING(ANX) = Capacité d'ingestion par animal.

III - La prise en compte des atteintes à l'environnement

Lors de notre travail, les atteintes à l'environnement considéré sont principalement la percolation des nitrates et l'érosion qui constituent les facteurs les plus nuisibles dans ce cadre d'étude.

1 - La percolation des nitrates

Selon les données disponibles et la base de données qu'il nous a été possible de créer à l'aide du modèle biophysique, nous pouvons dire que c'est sur ce facteur que nous interviendrons le plus grâce à la multitude des simulations effectuées et des résultats obtenus, qui associent à chaque culture, type de sol et niveau de fertilisation azotée, les quantités d'azote percolées par état de nature selon la variabilité climatique.

Ainsi, nous disposerons en fonction de chaque système de production, à la fois de la quantité totale d'azote percolée sur toute l'exploitation pendant les cinq ans considérés afin d'estimer l'atteinte globale sur la période d'étude, des quantités totales percolées par état de nature afin d'estimer la variabilité inter-annuelle de la pollution en fonction du climat et enfin des quantités percolées par état de nature et par type de sol.

Ceci se formule mathématiquement comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Pollution totale par état de nature :} & \quad \text{POLLUTION}(A) = \sum \text{PERC}_{C,T,PC,A} * X_{C,T,PC} \\ \text{Pollution par an et en sec :} & \quad \text{POLLUTSEC}(A) = \sum \text{PERC}_{CS,T,PC,A} * X_{CS,T,PC} \\ \text{Pollution par an et en irrigué :} & \quad \text{POLLUTIRIG}(A) = \sum \text{PERC}_{CI,T,PC,A} * X_{CI,T,PC} \end{aligned}$$

2 - L'érosion

Pour ce qui est de l'érosion, pour le présent travail, nous nous sommes limités aux techniques douces qui dépendent principalement du mode de production et du couvert végétal, et faute de temps, nous n'avons pas pu considérer d'autres techniques anti-érosives.

Pour ce qui est des résultats, ils seront du même style que ceux calculés pour la percolation des nitrates. Ainsi, nous disposerons pour chaque système de production, à la fois de la quantité totale de sol érodé sur toute l'exploitation durant les cinq années étant donné qu'il s'agit de données cumulatives qui nous renseignent sur l'atteinte globale lors de la période d'étude et des quantités totales érodées par état de nature afin d'estimer la variabilité inter-annuelle de l'érosion en fonction du climat et enfin des quantités érodées par état de nature et par type de sol.

Ces résultats qui se formulent mathématiquement comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Erosion totale par état de nature :} & \quad \text{EROSION}(A) = \sum \text{MUSL}_{C,T,PC,A} * X_{C,T,PC} \\ \text{Erosion par an et en sec :} & \quad \text{EROSIONSEC}(A) = \sum \text{MUSL}_{CS,T,PC,A} * X_{CS,T,PC} \\ \text{Erosion par an et en irrigué :} & \quad \text{EROSIONIRIG}(A) = \sum \text{MUSL}_{CI,T,PC,A} * X_{CI,T,PC} \end{aligned}$$

IV - La prise en compte du risque

1 - Prise en compte du risque économique

Le risque ou l'incertitude modifie profondément le comportement du sujet économique. Il est donc impossible de négliger cet aspect des choses lorsqu'on se propose de construire un modèle micro-économique. En particulier, il est fondamental de noter que le jeu du marché implique que les activités risquées, qui sont délaissées par la plupart des opérateurs, mais sont plus avantageuses "en moyenne" que les activités "sûres" plus recherchées (BOUSSARD J.M. et DAUDIN J.J., 1988).

De ce fait, le choix des plans de production alternatifs va dépendre largement de la variabilité inter-annuelle des revenus, raison pour laquelle, les producteurs diversifient leurs productions et consentent une certaine diminution de leur revenu en échange d'une diminution du risque.

Parmi les différentes possibilités d'intégration du risque dans le modèle, nous avons opté pour une méthode basée sur la méthode TARGET MOTAD (Minimum Of Total Absolute Deviation). Cette approche proposée par HAZEL en 1971, consiste à minimiser la somme des déviations totales : $Z_{jA} - Z_j$, où Z_j représente la moyenne arithmétique des marges brutes de l'activité X_j et Z_{jA} la marge directe de l'activité X_j relative à l'année A. Notons par ailleurs que la valeur de Z_j peut aussi bien être mobile que fixe, l'essentiel est de considérer la déviation de la marge par rapport à une référence donnée, en effet :

- Pour TAVER, Z_j est l'objectif fixé par le producteur.

La déviation est alors considérée par rapport à cet objectif (cité par HAZEL P.B.R et NORTON R.D, 1986).

Pour notre travail, nous avons retenu l'approche qui considère le cas où Z_j est mobile, vu qu'elle pourrait mieux refléter les aspirations de l'agriculteur, qui cherche pour sa part, à éviter les déviations négatives. Z_j représentera donc pour notre cas, la moyenne de la marge directe réalisée par les activités que choisirait le modèle sur les cinq années climatiques concernées par les simulations d'EPIC. La différence existante entre la moyenne des marges et la marge directe de chaque état de nature constituera la déviation.

$$\text{Dev}_A = Z_{jA} - Z_j$$

où Z_{jA} constitue la marge directe de l'année climatique A

L'écart type est calculé d'une façon endogène à partir des déviations par rapport à la marge directe, exprimé par :

$$\text{ECTY} = \left(\sum (\text{Dev}_A)^2 \right)^{1/2}$$

Dans ce cas, le risque constituera une contrainte qui exprimera le refus de toute situation présentant une valeur d'écart type supérieur à une valeur λ utilisée pour calibrer le modèle.

$$\text{ECTY} \leq \lambda$$

2 - Prise en compte du risque environnemental

La prise en compte de la variabilité inter-annuelle fait apparaître une importante fluctuation des résultats ciblés. En effet, aussi bien la pollution par lessivage et percolation que l'érosion dépendent en plus des conditions pédologiques et géomorphologiques des différents états de nature climatiques, les mêmes qui influencent le rendement.

Tenant compte de ça, un second mode d'approche est envisageable, ainsi en s'imprégnant de l'évaluation du risque économique à partir du *target MOTAD* développé par TAUER (1983), TEAGUE et AI (1995) proposent une méthode originale, qui consiste à traiter le risque environnemental et qu'ils appellent le *target MOTAD* environnemental.

Cette méthode nous permet d'inclure une contrainte environnementale dans le modèle mathématique d'une manière non déterministe et stochastique, conformément à la réalité où les atteintes à l'environnement sont fonctions des conditions qui prévalent dans le milieu. Ainsi, d'une façon similaire à la contrainte économique, nous fixerons un niveau d'aspiration environnementale T_{perc} par rapport auquel nous déterminerons les déviations environnementales positives par état de nature. La somme de ces déviations devra être inférieure ou égale à λ_{perc} , et de là on aura à chercher le système de production de l'exploitation qui répondra aux objectifs visés tout en respectant les contraintes prédéfinies.

Ce qui se formule mathématiquement comme suit :

$$\text{Max } U = W_1 * Z_i(X) - W_2 * \text{PERC}(X) - W_3 * \text{ERO}(X)$$

sous contrainte de :

$$T_{perc} - \sum \text{PERC}_{C,T,PC,A} * X_{C,T,PC} - \text{Dev}_{perc}(A) \geq 0$$

$$\sum DevPERC(A) \leq \lambda_{perc}$$

$$X_{C,T,PC}, DevPERC(A) \geq 0$$

avec :

- T_{perc} Niveau maximum de pollution ciblé.
- $DevPERC(A)$ Déviations positives de chaque état de nature par rapport à l'aspiration environnementale fixée T_{perc}
- $Z_i(X)$ L'objectif correspondant à la maximisation de la marge directe.
- $PERC(X)$ L'objectif correspondant à la minimisation de la percolation des nitrates.
- $ERO(X)$ L'objectif correspondant à la minimisation de l'érosion.
- W_i Coefficient de pondération

Chapitre V - Analyse des résultats

Dans le but de disposer d'une base de comparaison, nous avons commencé par élaborer un modèle forcé, inspiré de la situation réelle de l'exploitation et auquel nous imposons les techniques réellement utilisées. Ce modèle nous permettra d'estimer les résultats qu'on obtiendrait à travers la perpétuation du système de production actuelle, afin de nous positionner par rapport à cette situation, côté revenu, pollution et érosion. Après l'étalonnage, nous sommes arrivés à reproduire un plan de production voisin de celui effectivement réalisé dans la situation initiale connue, avec un coût d'opportunité de la terre de 655,726DT par hectare pour le périmètre irrigué et de 226,632 DT pour le périmètre en sec, ce qui est conforme à la valeur locative de la terre dans la région, bien que le marché foncier soit quasi inexistant.

Par la suite, nous avons élaboré notre modèle de base, où nous avons introduit les diverses techniques et alternatives de production possible dans le but de maximiser les bénéfices matériels de l'exploitation.

Tableau n°4 : Comparaison entre le modèle de base et le modèle réel

	Marge directe DT	Percolation des nitrates (Kg)	Erosion totale (m ³)
Total	334800.8	241734	18687
/ha/an	688.89	99.48	8.1
Total	366491	230113.3	18093
/ha/an	754.096	94.69	7.445

D'après les résultats du modèle de base, on estime que la quantité cumulée d'azote percolé et de sol érodé s'élève respectivement à 230113.3 Kg et 18093 m³ soit 94.69 kg/ha/an et 7.445 m³/ha/an pour une marge directe de 366491 DT alors qu'au niveau du modèle réel la réalisation d'une marge directe de 338800.8 DT soit de -9.4% par rapport à la solution de base, a induit une pollution de 241734 Kg soit 99.48 kg/ha/an et une érosion de 18687 m³ soit 8.1 m³/ha/an correspondant respectivement à des niveaux de pollution et d'érosion supérieurs à ceux de la solution de base de 5.1 % et de 3.3% .

Les différents résultats issus de ces deux modèles, nous renseignent déjà sur ce qui est réalisé et ce qui est réalisable et vont nous servir aussi comme base de comparaison avec les autres résultats des situations que nous aurons à simuler, de sorte que les solutions pour lesquelles nous opterons à la fin, soient moins polluantes, moins érosives mais en même temps ne doivent pas léser les exploitants et doivent leur garantir un niveau de revenu similaire à celui qu'ils réalisent d'habitude en négligeant les facteurs environnementaux, et cela afin de faciliter leur persuasion quant à l'adoption d'une des situations que nous leur présenterons.

Pour passer à l'analyse multiobjectif, nous commençons par déterminer la matrice *pay-off*, cette étape consiste à optimiser chacun des objectifs séparément tout en calculant les valeurs que prennent les autres objectifs dans chacune des solutions optimales, (voir le tableau n°4).

En procédant de la sorte, nous obtenons une matrice carrée dont la dimension est donnée par le nombre d'objectifs considérés (ROMERO, C.; REHMAN, T.; 1989). Cette matrice appelée aussi matrice de gain, permet de connaître l'idéal (représenté au niveau du tableau par la diagonale) et l'anti-idéal de chaque objectif. Elle permet aussi de connaître avec facilité le degré de conflit qui caractérise les objectifs considérés (ZEKRI, S. ; DRIDI, N. ; LARA, P., 1994).

Tableau n°5 : Matrice de *Pay-off*.

Objectifs	Maximiser	Minimiser	Minimiser
	la marge directe	la percolation	l'érosion
Marge directe DT/an	366491	143358	201393.9
Percolation totale Kg	230113.3	151228.6	180060
Erosion totale m ³	18093	16180	14390

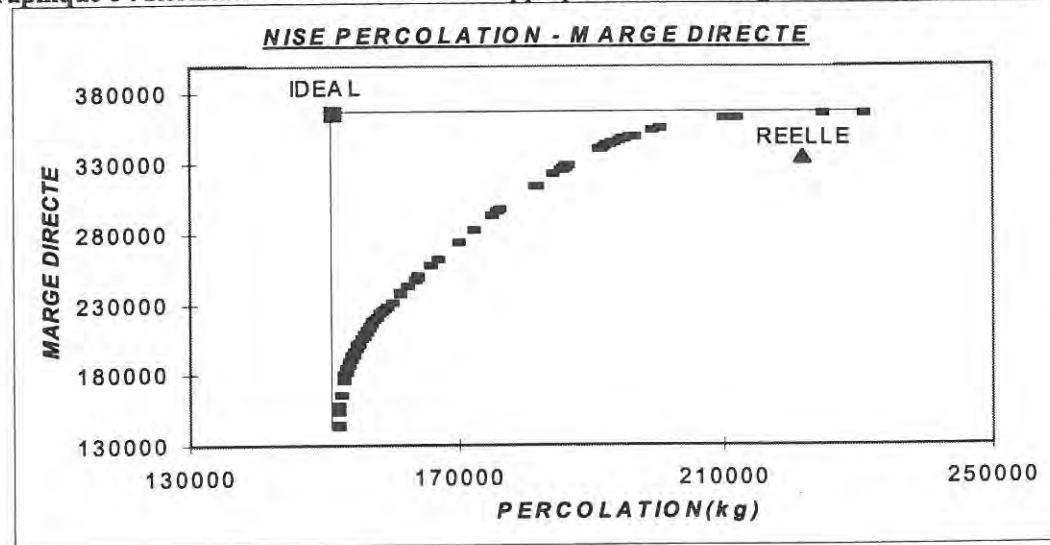
Comme on peut le constater sur la matrice *Pay-off*, un important conflit existe entre les objectifs marge directe et percolation des nitrates ; la marge directe prend sa valeur anti-idéale lorsqu'on cherche à optimiser l'objectif percolation et vice versa. Ce conflit existe aussi entre l'objectif marge directe et l'érosion. En raison de cet état

de conflit, on va essayer d'analyser ces objectifs simultanément deux à deux et cela, en appliquant la méthode NISE complétée, par la méthode des compromis, puis, les trois objectifs à la fois.

I - Analyse du conflit entre la marge directe et la percolation des nitrates

La méthode NISE appliquée à ces deux objectifs nous a permis, en partant des 2 solutions extrêmes efficaces d'obtenir 107 points extrêmes efficaces avec, pour chaque point, ce qui lui correspond comme pratique culturale, niveau de marge directe, de percolation, d'érosion ainsi que le *Trade off* (taux de substitution), (voir annexe 3).

Graphique 6 : Résultats de la méthode NISE appliquée entre la marge directe et la percolation.



En raison de la multitude de solutions extrêmes efficaces possibles, nous avons eu recours en second lieu à la méthode des compromis, qui nous permet de réduire l'espace de solutions et de ne considérer que l'intervalle le plus proche du point idéal, en supposant que c'est vers ce choix que cherche à s'orienter le centre de décision.

Pour ce même travail, et pour être le plus proche des différentes aspirations possibles du centre de décision, nous avons considéré deux niveaux de pondération, l'un où nous accordons la même importance aux deux objectifs et le second, où nous considérons qu'il faut accorder à la marge directe deux fois plus d'importance qu'à celle de la pollution.

Tableau n°6 : Solutions générées par la méthode de compromis (percolation marge directe).

	Marge directe	Percolation des Nitrates	Erosion
$w_1 = 1 \quad w_2 = 1$			
L_1	325909.9	184669	19654
L_∞	312914.9	180483.5	19771
$w_1 = 2 \quad w_2 = 1$			
L_1	350293.3	195575	18667
L_∞	336398.4	188869.4	19035
Modèle de base	366491	231113.3	18093
Situation réelle	334800.8	221734	19687

Tableau n°7 : Description des systèmes de cultures générées par la méthode de compromis appliquée entre la percolation et la marge directe.

$w_1 = 1$	$w_2 = 1$	$w_1 = 2$	$w_2 = 1$	Situation de base			
Culture-Tech	L_1 (ha)	L_∞ (ha)	Culture-Tech	L_1 (ha)	L_∞ (ha)	Culture-Tech	ha
BDS-T01	8	8	BDS-T01	-	8	BDS-T10	47
BDS-T04	25	25	BDS-T04	-	15	BDS-T11	56
BDS-T05	10	10	BDS-T05	-	1.7	BTS-T07	25
BDS-T06	33	33	BDS-T06	-	51.3	CL7-T10	58
BDS-T07	32	16	BDS-T07	47	32	BTI-T72	34.
BTS-T04	5	5	BDS-T08	15	-	BDI-T96	9
BTS-T05	-	16	BDS-T09	20	-	VTI-T66	97
VAS-T07	25.2	25.2	BDS-T10	32	-	VTO-T66	22
VAF-T07	47.8	47.8	BTS-T04	-	5	BSI-T85	37.
BTI-T33	20.4	-	VAS-T07	-	25.2		1
BTI-T34	68.2	88.6	VAS-T08	24.9	-		109
BDI-T16	97	97	VAF-T07	-	47.8		
BDI-T36	-	11.9	CL7-T11	48.1	-		
VTO-T46	5.4	5.4	BTI-T33	-	20.4		
BSI-T55	99	87.1	BTI-T34	-	68.2		
BSI-T85	10	10	BTI-T74	56.9	-		
			BDI-T16	97	97		
			VTO-T46	-	5.4		
			VTO-T66	37.1	-		
			BSI-T55	99	99		
			BSI-T85	10	10		

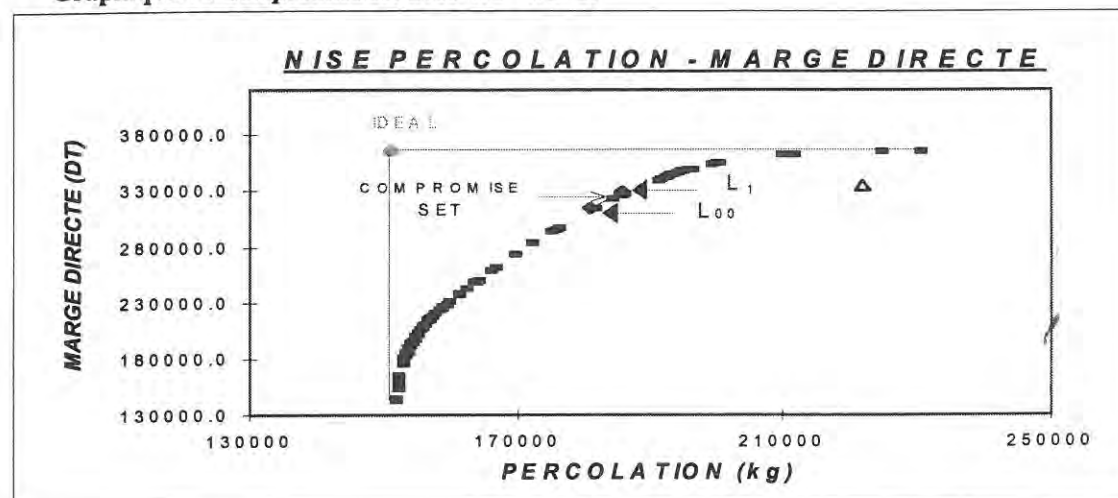
A l'opposé de la situation réelle où généralement une seule technique est adoptée par culture, les solutions obtenues par la méthode des compromis comportent une multitude de techniques par culture et cela selon le précédent cultural, le résidu des produits fertilisant ou de fumier contenu dans ce sol.

Comme exemple, nous pouvons prendre le cas du Blé dur irrigué (BDI) pour lequel sera retenue la technique T16 (voir annexe 2), c'est-à-dire, le niveau 1 qui est le plus bas niveau de fertilisation azotée puisqu'il succède à la betterave à sucre qui bénéficie généralement d'une fertilisation excessive dont une grande partie persistera dans le sol. En parallèle, ce BDI bénéficie du niveau 6 d'irrigation qui correspond au niveau le plus élevé, afin de faciliter l'assimilation par la plante des éléments organiques et minéraux qui existent déjà en abondance sur ce sol et dont elle a besoin.

C'est principalement l'adoption de cette méthode au reste des spéculations qui va nous permettre de garder le même niveau de la marge directe que dans la situation réelle et même de l'améliorer, parallèlement, elle va nous permettre de diminuer considérablement le niveau de percolation.

1 - Cas où $w_1 = w_2 = 1$.

Pour le cas où on affecte une même importance aux deux objectifs, le *compromise set* sera compris entre L_1 (325909.9 ; 184669) et L_∞ (312914.9 ; 180483.5), ce qui correspond à une variation relative de la marge directe par rapport au modèle de base de -11,07 % à -14,61 %, pour une variation relative de la pollution plus importante et comprise entre - 19,74 % et - 21,56 %.

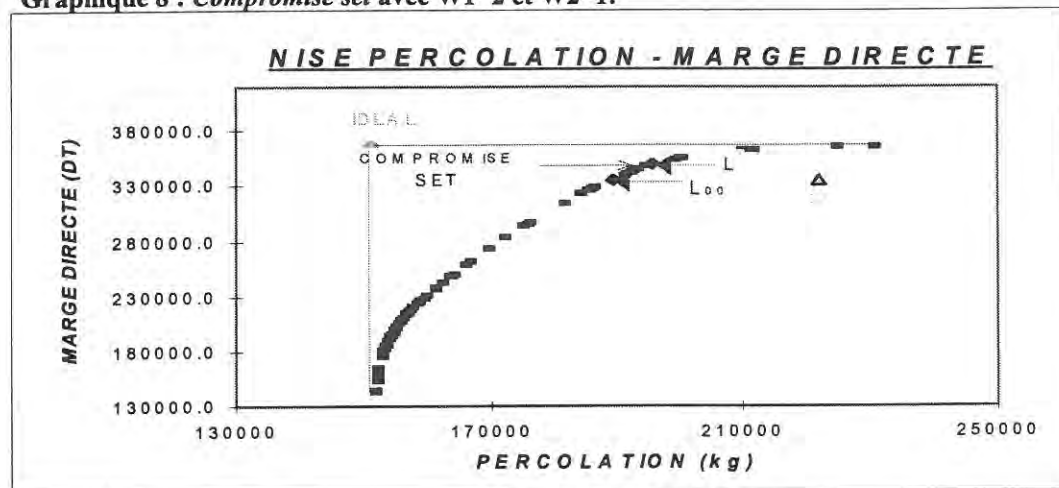
Graphique 7 : Compromise set avec $W_1=W_2=1$.

Nous remarquons tout d'abord, que les agriculteurs ont tendance à intensifier à outrance, du fait que c'est toujours les techniques les plus intensives qui apparaissent, contrairement à L_1 et L_∞ où nous trouvons diverses techniques par culture, en plus, nous constatons que les cultures fourragères ont tendance à se concentrer dans le périmètre irrigué en les intensifiant au maximum pour subvenir aux besoins fixes du cheptel avec le minimum de surface possible, afin de les utiliser pour d'autres cultures plus rentables. D'autre part, la différence entre L_1 et L_∞ est principalement due à la diminution de la superficie allouée à la betterave, qui passe de 109 ha à 97,1 ha, la différence sera réaffectée au blé dur irrigué. En ce qui concerne les fourrages et les aliments concentrés, on observe une stabilité entre L_1 et L_∞ .

Pour ce qui est du périmètre en sec, on note l'introduction du blé tendre dans la solution L_∞ qui se fera aux dépens du blé dur. Globalement, nous ne notons pas de grandes différences entre les deux solutions qui sont en tout point de vue meilleures que la situation réelle et à la fois assez proches du modèle de base. Nous pouvons remarquer donc, que l'adoption de tout système de production compris entre L_1 et L_∞ entraînera une très faible baisse de la marge directe, accompagnée par une assez importante diminution de la pollution.

2 - Cas où $W_1 = 2$ $W_2 = 1$.

Pour le cas où nous affectons deux fois plus d'importance à la marge directe, le *compromise set* sera compris entre L_1 (350293.3 ; 195575) et L_∞ (336398.4 ; 188869.4), ce qui correspond à une variation relative de la marge directe par rapport à la réalité de - 4,42 % à - 8,21 % et d'une variation relative de la pollution de - 15,01 % à - 17,92 %.

Graphique 8 : Compromise set avec $W_1=2$ et $W_2=1$.

Nous constatons un rapprochement des solutions L_1 et L_∞ de la solution de base, bien que persiste une certaine variabilité dans la répartition des techniques pour la même culture au niveau de L_1 et L_∞ . Nous remarquons de même, une percée du colza dont l'emblavure augmente parallèlement à l'évolution de la marge directe. Par ailleurs, entre L_1 et L_∞ , nous notons une stabilité totale pour le blé dur et la betterave à sucre irriguée. Par contre, la superficie allouée au blé tendre irrigué subira une diminution au profit des cultures fourragères et cela pour remplacer la partie des fourrages substituée dans le périmètre en sec par le blé dur, et cela afin de pouvoir subvenir aux besoins alimentaires du cheptel.

Selon le coefficient de pondération affecté aux objectifs, les systèmes de production au sein de chaque *compromise set* seront assez similaires ; par contre, entre les deux *compromise set* (a,b), les changements des systèmes de production seront remarquables. Ainsi, en passant de la situation a à b, les superficies allouées aux fourrages connaîtront une diminution d'une vingtaine d'ha, en même temps, les superficies restantes seront beaucoup plus intensifiées et occuperont une place plus importante dans le périmètre irrigué prise aux dépens du blé tendre, ces changements seront accompagnés par conséquent par une augmentation des quantités de concentré acheté.

Tableau n°8 : Répercussion de la méthode des compromis sur le reste des résultats lors de la prise en compte de la percolation et de la marge directe.

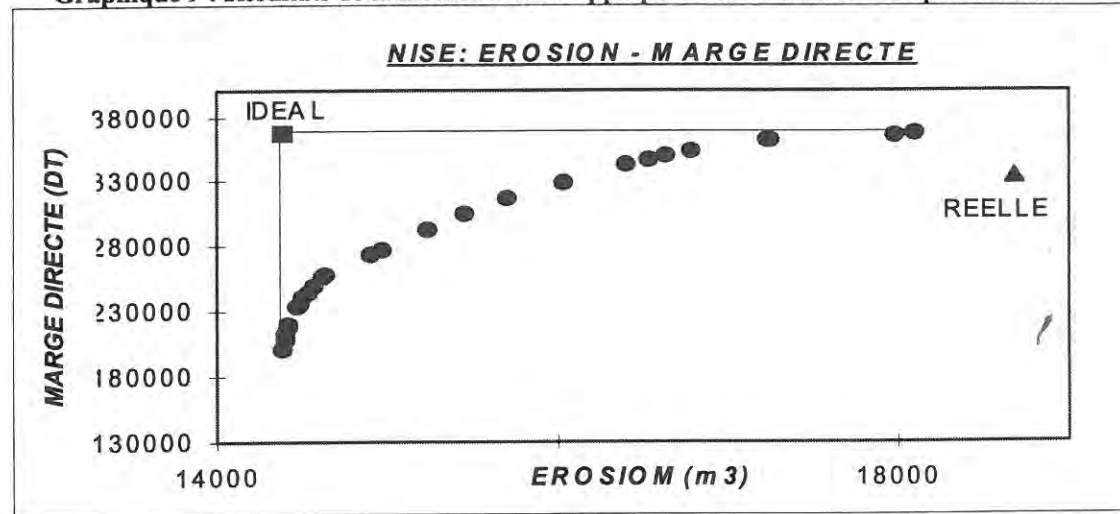
	$W_1 = 1$ L_1	$W_2 = 1$ L_∞	$W_1 = 2$ L_1	$W_2 = 1$ L_∞	solution de base
Conc 1 (Qx)	3008	3069	2981.5	3077	3129.6
Conc (Qx)	800	802	790.7	832	769.3
Pail	4470	4465.2	4513	4495	4504
PulPbs (Qx)	6104	5436.17	6104	6104	6104
Location Moo(J)					
M6	570	551	610.8	591.7	615.3
M7	453.2	422	460.6	453.2	400
M8	315.5	250	315.5	315.5	315.5
Location MB(H)					
M3	14.1	-	-	-	-
M4	131.4	-	-	-	-
M6	443.8	-	23.6	-	45.8
Quantité irrig.(m³)					
M1	41852.7	45852	41824	37609.5	37609.6
M2	97251.5	95288.7	102490	101925	101925
M3	160000	159650	159990	151463	151463
M4	158200	157850	147540	131781	131784
M5	76300	67952	76300	76300	76300
M6	65400	58244.7	65400	65400	65400
M9	54500	48537.3	54500	54500	54400
M11	55404	49441.5	60702	64369.4	64369.4

On peut remarquer sur les résultats obtenus, une absence d'analogie entre la percolation et l'érosion. En effet, dans les deux cas où $W_1 = 1$ et $W_1 = 2$, on constate une diminution du niveau de pollution entre L_1 et L_∞ qui est en même temps accompagnée par une augmentation du niveau d'érosion.

II - Analyse du conflit entre la marge directe et l'érosion

L'application de la méthode NISE aux deux solutions extrêmes efficaces A = (366491 ; 18093) et B = (201393.9 ; 14390) relative à la maximisation de la marge et la minimisation de l'érosion, nous permet de générer l'ensemble des solutions extrêmes efficaces au nombre de 32, avec pour chacune des solutions, ce qui lui correspond comme pratique culturale, marge directe, percolation, d'érosion et de *Trade off*, (voir annexe 4).

Graphique 9 : Résultats de la méthode NISE appliquée entre l'érosion et la percolation.



Vu la multitude des solutions **optimum Pareto**, obtenues à partir de la méthode NISE, une sélection s'impose afin de restreindre l'espace de solution possible et de faciliter toute décision préalable du centre de décision. L'utilisation de la programmation par compromis, nous a permis de réaliser cette sélection et de la limiter au *compromise set* qui correspond à l'espace contenant l'ensemble des solutions les plus proches du point idéal. Comme dans le cas précédent, nous avons jugé utile de considérer deux niveaux de pondération différents, l'un affectant la même importance aux deux objectifs, l'autre procure deux fois plus d'importance à la marge directe qu'à l'érosion.

Tableau n°9 : Solutions générées par la méthode des compromis (érosion et marge directe).

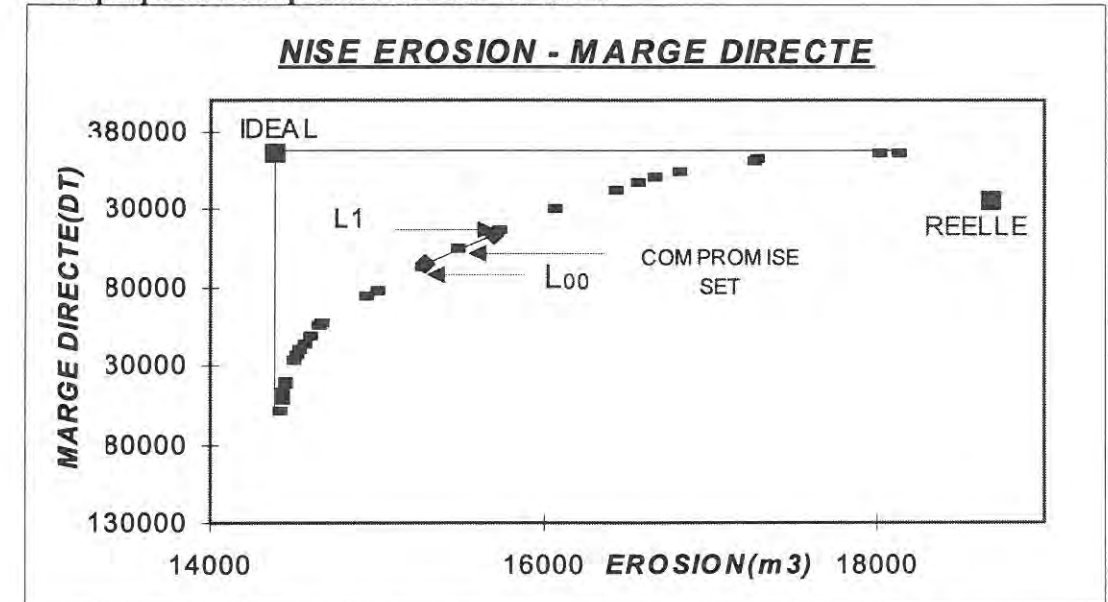
	Marge directe DT	Erosion totale m3	Percolation des nitrates totale
$w_1 = 1 \quad w_2 = 1$			
L_1	317091	15695	217539
L_∞	289852.8	15179	207504
$w_1 = 2 \quad w_2 = 1$			
L_1	353447.1	16783	229103
L_∞	331724.5	16087	222813
Situation de base	366491.8	18093	230113

Tableau n°10 : Description des systèmes de cultures générées par la méthode des compromis lors de la prise en compte de l'érosion et de la marge directe.

Culture-Tech	$w_1 = 1 \quad w_2 = 1$		$w_1 = 2 \quad w_2 = 1$		Situation de base	
	L1 (ha)	L_∞ (ha)	L1 (ha)	L_∞ (ha)	Culture-Tech	ha
BDS-T07	5	5	BDS-T07	5	BDS-T10	47
BDS-T10	26	26	BDS-T10	42	BDS-T11	56
BDS-T11	10	10	BDS-T11	33	BTS-T07	25
BTS-T06	15	15	BTS-T06	-	CL7-T10	58
BTS-T10	24	24	BTS-T10	-	BTI-T72	34.9
CLZ-T09	33	33	CLZ-T06	-	BDI-T96	97
CLZ-T11	73	73	CLZ-T09	-	VTI-T66	22
BDI-T76	16	16	CLZ-T10	33	VTO-T66	37.1
BDI-T96	113	129	CLZ-T11	73	BSI-T85	109
TRI-T84		11.4	BDI-T76	-		
TRI-T94	28.1	28.1	BDI-T96	97		
VTI-T66	28.8	28.8	TRI-T94	28.1		
VTO-T66	37.1	37.1	VTI-T66	28.8		
BSI-T85	77	49.6	VTO-T66	37.1		
			BSI-T85	109		

1 - Cas où $w_1 = w_2 = 1$.

Pour ce cas, où la même importance est affectée aux deux objectifs, le *compromise set* sera compris entre L_1 (317091 ; 15695) et L_∞ (289852,5 ; 15179) ce qui correspond à une variation relative de la marge directe par rapport au modèle de base de - 13,48 à - 20,9 pour une réduction du taux d'érosion de 13,25 à 16,1.

Graphique 10 : Compromise set avec $w_1=w_2=1$.

Nous remarquons que, dans le cas où nous considérons l'érosion, le modèle s'oriente vers l'adoption des techniques les plus intensives. Nous expliquons cela par le fait que, plus on intensifie, plus on favorise l'assimilation par la plante des éléments organiques et minéraux, favorisant de la sorte le développement végétatif et racinaire de la plante qui va jouer un rôle protecteur pour le sol et réduire son érosion. Sauf pour la betterave à sucre où ce processus s'inverse à cause de l'important développement racinaire qui la caractérise et qui déstabilise considérablement la structure du sol et le rend vulnérable à l'érosion, lors de l'arrachage.

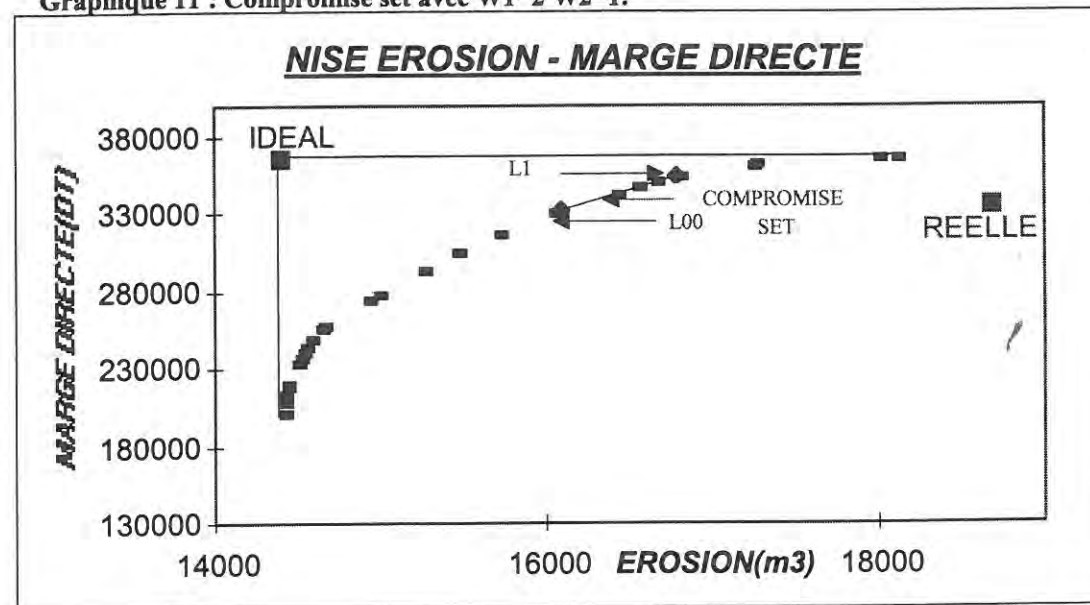
La principale différence entre L_1 , L_∞ et la solution de base réside au niveau de la betterave à sucre qui subira une importante diminution de superficie aux dépens du triticale qui fera son entrée, en plus, de l'augmentation de la superficie réservée au blé dur en irrigué.

D'autre part, entre L_1 et L_∞ , aucune différence n'est notée ni pour le périmètre en sec ni pour les fourrages, par contre, pour le périmètre irrigué, on note une diminution de 27,4 ha de betterave qui sera répartie entre le blé dur et le triticale.

Ce qui est marquant pour ce cas, c'est l'élasticité de la marge directe par rapport au prix, en effet, il faut consentir une importante baisse de revenu entre 13,48% et 20,9% pour une faible réduction de l'érosion ; c'est ce qui fera de cette solution, une solution nullement efficace.

2 - Cas où $w_1 = 2, w_2 = 1$.

Pour ce cas, nous donnons 2 fois plus d'importance à la marge directe qu'à l'érosion, le *compromise set* sera compris dans l'intervalle L_1 (353447.1 ; 16783) et L_∞ (331724.5 ; 16087), ce qui correspond à une variation relative de la marge directe entre - 3,56% et - 9,84% par rapport à la solution de base, alors que la variation relative de l'érosion variera de - 7,24% et - 11,08%.

Graphique 11 : Compromise set avec $W_1=2$ $W_2=1$.

Contrairement à la situation précédente, nous remarquons dans ce cas un rapprochement du *compromise set* de la solution de base, surtout pour la betterave à sucre et les fourrages, la principale différence aura lieu au niveau du périmètre irrigué où persiste le triticale, alors que le blé tendre n'a pas fait son entrée. Par contre entre L_1 et L_∞ , une seule différence est notée dans le périmètre irrigué où 13,3 ha de la betterave à sucre sont substitués au profit du triticale, alors que pour le périmètre en sec, les 24 ha de blé tendre de L_∞ seront affectés au blé dur au niveau de L_1 .

Tableau n° 11 : Répercussion de la méthode des compromis sur le reste des résultats lors de la prise en compte de l'érosion et de la marge directe.

	$W_1 = 1$	$W_2 = 1$	$W_1 = 2$	$W_2 = 1$	Solution de base
	L_1	L	L_1	L	
Conc 1 (Qx)	2889	3028	2726.7	2794	3129.6
Conc7 (Qx)	882.9	892	879	882.9	769.3
Pail	4469	4469	4469	4692	4504
PulPbs (Qx)	4312	2776	6104	5357.6	6104
Location Moo(J)					
M6	520.8	491.5	569	543	615.3
M7	400	382	477.4	411	460
M8	139		315.5	242.2	315.5
Location MB(H)					
M3					
M4					
M6	119	163	67.9	89.2	45.8
Quantité irrig.(m ³)					
M1	47948	53854	39948	43279.8	37609.6
M2	97395	89593	105403	102065	101925
M3	149704	142316	1546107	153448	151463
M4	127748	120353	134149	131486	131784
M5	539003	34709	76300	66970.7	76300
M6	46200	297506	65400	57403	65.400
M9	38500	24792	54500	44836.2	54560
M11	49513	35805	65513	58849.2	64369.4

Nous constatons ici l'efficacité de la technique douce anti-érosive, qui est essentiellement basée sur le mode de conduite des cultures. De même, nous remarquons que l'ensemble des techniques adoptées ici sont plus

intensives que celles retenues lors de la minimisation de percolation, nous expliquons cela par le fait que plus on intensifie, plus on favorise l'assimilation par la plante des éléments organiques et minéraux, favorisant de la sorte le développement végétatif et racinaire de la plante qui va jouer un rôle protecteur pour le sol et réduire son érosion. Exception faite de la betterave à sucre où ce processus s'inverse à cause de l'important développement racinaire qui caractérise cette culture et qui lors de la récolte, donc de l'arrachage, déstabilise considérablement la structure du sol et le rend vulnérable à l'érosion.

III - Prise en compte des 3 objectifs à la fois

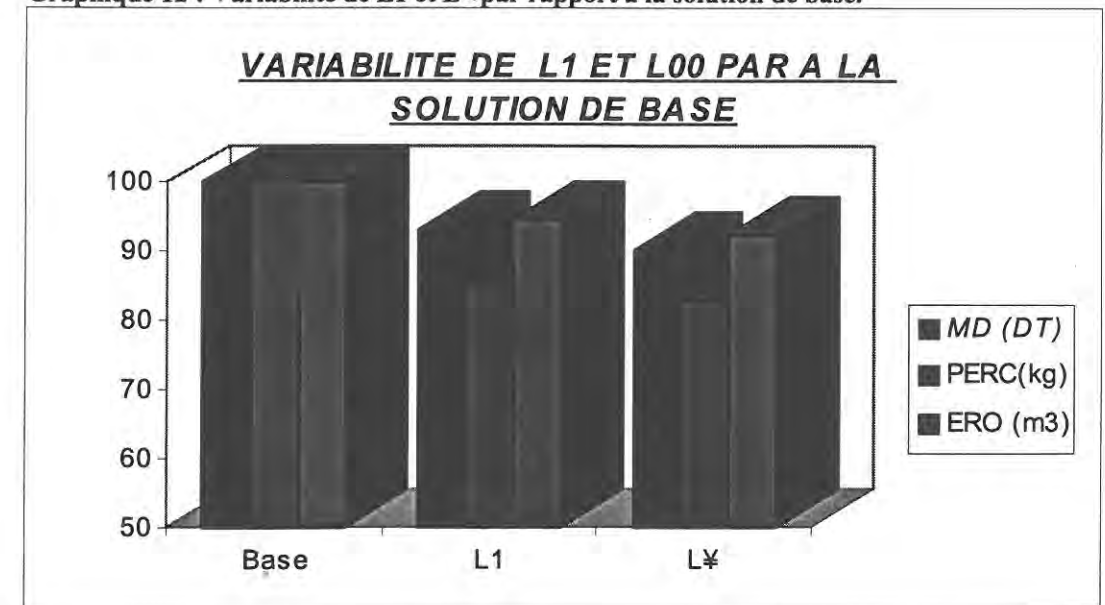
Comme nous l'avons précisé dès le début, notre objectif consiste à fournir au centre de décision les diverses possibilités d'action qui lui sont offertes. Cela dépendra bien sûr du centre de décision considéré et de ces aspirations. Lors des deux précédentes analyses, nous avons considéré à chaque fois 2 objectifs simultanément, mais pour le cas actuel, nous allons essayer de voir qu'elles sont les possibilités d'action qui s'offre au décideur pour une prise en compte des 3 objectifs à la fois.

L'application de la programmation par compromis en ce cas, nous a permis de déterminer l'intervalle de solutions le plus proche du point idéal.

Tableau n°12 : Solutions générées par la méthode des compromis appliqués aux 3 objectifs.

	Marge directe DT	Percolation des nitrates totale Kg	Erosion totale m3
L_1	341066.4	193988	17089
L	325960	189893	16706
Situation de base	366491	230113	18093

En effet, cet intervalle est compris entre L_1 (341066.4 ; 193988 ; 17089) et L_∞ (325960 ; 189893 ; 16706), ce qui correspond à une variation relative par rapport à la solution de base de - 6.93 à 11.06 pour la marge brute, de - 15.7 à 17.48 pour la percolation et de 5.5 à - 7.66 pour l'érosion.

Graphique 12 : Variabilité de L_1 et L_∞ par rapport à la solution de base.

A partir des systèmes de productions obtenues, nous notons de faibles variations entre la solution de base et la solution possible du *compromise set*.

Tableau n°13 : Description des systèmes de cultures générées par la méthode des compromis lors de la prise en compte des 3 objectifs.

L ₁ (ha)		L _∞ (ha)		Solution de base(ha)	
BDS-T05	8	BDS-T04	8	BTS-T07	25
BDS-T06	25	BDS-T06	25	BDS-T10	47
BDS-T07	15	BDS-T07	31	BDS-T11	56
BDS-T10	16	BTS-T07	24	CLZ-T10	58
BTS-T07	24	CLZ-T07	33	BTI-T72	34.9
CLZ-T08	33	CLZ-T11	65	BDI-T96	97
CLZ-T11	65	BTI-T34	29.9	VTI-T66	22
BTI-T34	29.9	BDI-T16	97	VTO-T66	37.1
BDI-T16	97	BDI-T46	16	BSI-T85	109
VTI-T46	22.7	VTO-T16	41.4		
VTO-T16	41.4	VTI-T46	22.7		
BSI-T55	99	BSI-T55	83		
BSI-T85	10	BSI-T85	10		

En effet, nous remarquons qu'au niveau de la solution de base, nous trouvons plus de blé tendre et de blé dur en sec qui vont remplacer une partie du colza. Par contre, pour le périmètre irrigué, nous aboutissons à moins de superficie réservée au fourrage, mais ce qui persiste bénéficiera d'une importante fertilisation azotée. La superficie, qui sera perdue par les fourrages, sera réaffectée vers le blé tendre. D'autre part, la principale différence notée entre L₁ et L_∞ aura lieu au niveau de la betterave à sucre qui subira une diminution de 16 ha, superficie qui sera allouée au blé dur au niveau de L_∞, alors que les autres cultures ne subiront aucune modification notable.

Tableau n°14 : Répercussion de la méthode des compromis sur le reste des résultats lors de la prise en compte des 3 objectifs.

	L ₁	L _∞	Modèle de base
Conc 1 (Q _x)	3129	3211	3129.6
Conc7 (Q _x)	769	769	769.3
Pail	4504	4504	4504
PulPbs (Q _x)	6104	5208	6104
Location Moo(J)			
M6	614.6	595.5	615.3
M7	387.6	378	400
M8	315.5	227.5	315.5
Location MB(H)			
M3			
M4			
M6	70.9	96.5	45.8
Qutité irrig.(m ³)			
M1	40935	44935	37609.6
M2	106079	102073	101925
M3	158117	154917	151463
M4	136763	133568	131784
M5	76300	65100	76300
M6	65400	55800	65400
M9	54500	46500	54500
M11	65203	57202.8	64369.4

IV - Prise en compte du risque environnemental

Parmi les différentes atteintes portées à l'environnement via l'intensification effrénée, c'est la percolation des nitrates qui occupe la place prépondérante en raison des méfaits dont elle est à l'origine et du rôle néfaste qu'elle peut jouer au niveau de la dégradation de la santé de tous ceux qui sont desservis par les eaux issues de ces percolations. Tenant compte de la large dépendance existante entre les quantités percolées et la variabilité des conditions climatiques caractérisant la région, nous avons cru bon de considérer cette variabilité inter-annuelle et d'introduire le facteur risque environnemental. Ce risque aura pour tâche de restreindre l'apparition des années à haut niveau de pollution, sachant que la moyenne des quantités percolées sur la période d'étude ne constitue pas un indicateur suffisant. Ainsi en appliquant le *target* MOTAD environnemental, où l'objectif environnemental correspondra au niveau moyen de percolation de la solution L_∞ déterminée lors de l'optimisation simultanée des trois objectifs, soit 38000 Kg de nitrates par an sur toute l'exploitation, l'équivalent de ≈ 78.1 Kg/ha/an, ce dernier nous permettra de déterminer les déviations positives. La somme de ces déviations affectée d'un coefficient d'aversion au risque Φ qui devra être inférieure à un certain niveau de tolérance λ_{perc} .

1 - Analyse du conflit entre marge directe et la percolation des nitrates en incluant le risque environnemental.

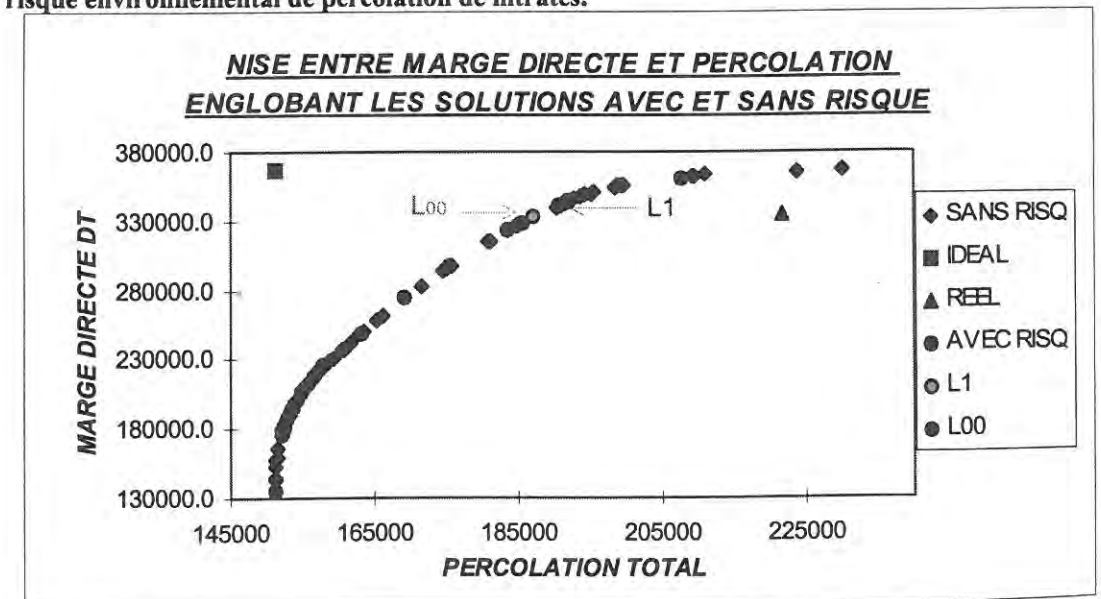
Suite à l'application de la méthode NISE entre la marge directe et la percolation sous la contrainte environnementale prédéfinie, nous avons déterminé, en partant des deux solutions extrêmes efficaces de la matrice *pay-off* (voir tableau n°13), l'ensemble des solutions extrêmes efficaces.

Tableau n°15 : Matrice de *Pay-off*.

Objectifs	Marge directe DT/an	La percolation totale des nitrates Kg
Maximiser la marge directe	361198.1	207632.3
Minimiser la percolation	134803.7	151204.7

Dans ce qui a précédé, nous avons effectué un travail similaire entre la marge directe et la percolation des nitrates, sans tenir compte du risque de pollution inter-annuelle. La différence principale entre les deux travaux réside dans le fait que la contrainte imposée sur le risque de pollution inter-annuelle va limiter le champ d'action, et on aura ainsi par là-même, un nombre de solution assez restreint dont une grande majorité sera confondue avec celles issues des simulations ne considérant pas le risque. Donc ne seront garder que les solutions où la contrainte imposée est respectée (voir graphique n°13).

Graphique 13 : Comparaison des résultats de la méthode NISE avec et sans considération du risque environnemental de percolation de nitrates.



Bien que le nombre de solutions ait été restreint, il reste néanmoins important, d'où l'utilité d'appliquer la méthode des compromis afin de déterminer l'intervalle le plus proche de la solution idéale.

Tableau n°16 : Solutions générées par la méthode de compromis (percolation marge directe) avec et sans considération du risque environnementale.

	Marge directe DT	Percolation totale des Nitrates Kg	Erosion totale m ³
Avec risque			
L ₁	340678.2	190626.7	18645.4
L _∞	332314.8	187199.7	19382
Sans risque			
L ₁	350293.3	195575	18667
L _∞	336398.4	188869.4	19035
Modèle de base	366491	231113.3	18093
Situation réelle	334800.8	221734	19687

Ainsi comme le montre le tableau 13, le *compromise set* passera de (350293.3 ; 195575) pour L₁ et (336398.4 ; 188869.4) pour L_∞ à L₁= (340678.2 ; 190626.7) et L_∞ = (332314.8 ; 187199.9) pour le second cas où nous considérons le risque.

Nous constatons que la prise en compte du risque va engendrer un léger déplacement du *compromise set*, ce qui correspondra à une réduction de la marge variant de 2.74% à 1.21% et une réduction de la percolation moyenne de 2.53% à 0.8%.

Bien que la réduction de la marge soit relativement plus importante que celle de la pollution, les systèmes de productions issus des simulations incluant la contrainte, seront plus intéressants du moment qu'ils prennent en compte la variabilité inter-annuelle des niveaux de pollution et des dangers que ces fluctuations peuvent engendrer.

Cette méthode risque de pénaliser les producteurs, elle va se matérialiser par une limitation des possibilités de productions, engendrant par là-même un coup additionnel à supporter.

Par contre, elle aura l'avantage de limiter le risque d'obtention d'importantes pollutions et de nous procurer les moyens et outils permettant de comptabiliser les répercussions matérielles négatives dues à la considération de cette contrainte, et ceci par une simple comparaison des marges pouvant être obtenues avec et sans incorporation du risque.

Dans le but de comprendre l'origine de ces variations, nous allons voir les principaux changements notés au niveau des systèmes de cultures issus des deux *compromise set*.

(voir tableau n°17)

Tableau n°17 : Description des systèmes de cultures générées par la méthode de compromis appliquée entre la percolation et la marge directe avec et sans risque.

Solution avec risque Culture-Tech	Solution sans risque		Culture-Tech	Solution sans risque	
	L ₁ (ha)	L _∞ (ha)		L ₁ (ha)	L _∞ (ha)
BDS-T04	23	8	BDS-T01	-	8
-	-	-	BDS-T04	-	15
BDS-T06	43	58	BDS-T05	-	1.7
BDS-T07	18	18	BDS-T06	-	51.3
BDS-T08	16	16	BDS-T07	47	32
BDS-T09	8	8	BDS-T08	15	-
-	-	-	BDS-T09	20	-
BTS-T05	5	5	BDS-T10	32	-
VAS-T07	25.2	25.2	BTS-T04	-	5
-	-	-	VAS-T07	-	25.2
VAF-T07	-	34.7	VAS-T08	24.9	-
CLZ-T11	47.8	13.1	VAF-T07	-	47.8
BTI-T33	-	14.3	CL7-T11	48.1	-
BTI-T34	55.6	65.2	BTI-T33	-	20.4
-	-	-	BTI-T34	-	68.2
BDI-T16	97	97	BTI-T74	56.9	-
VTO-T46	38.4	14.5	BDI-T16	97	97
-	-	-	VTO-T46	-	5.4
BSI-T55	99	99	VTO-T66	37.1	-
BSI-T95	10	10	BSI-T55	99	99
			BSI-T85	10	10

Bien qu'en globalité, les deux *compromise sets* soient assez semblables, il existe tout de même quelques différences induites par la réduction des déviations positives par rapport au niveau d'aspiration de pollution maximum ciblé.

Ainsi, et comme le montre le tableau n°16, la contrainte imposée entraînera une réduction des emblavures réservées au blé dur en sec (BDS).

Cette réduction sera combinée avec une extensification, vu qu'il y aura abandon de la technique T10 au profit de technique T04 et T06 où l'on utilise moins de fertilisants azotés.

Cette extensification est notable aussi au niveau du blé tendre irrigué (BTI) où la technique T74 sera substituée par les techniques T34 et T33, donc il y aura une importante réduction de la fertilisation couplée à une légère diminution du niveau d'irrigation. Le dernier changement significatif touchera la vesce-avoine-triticales (VTO) qui gardera les mêmes emblavures, mais sera cultivée d'une façon plus extensive et ceci en diminuant les apports d'azote.

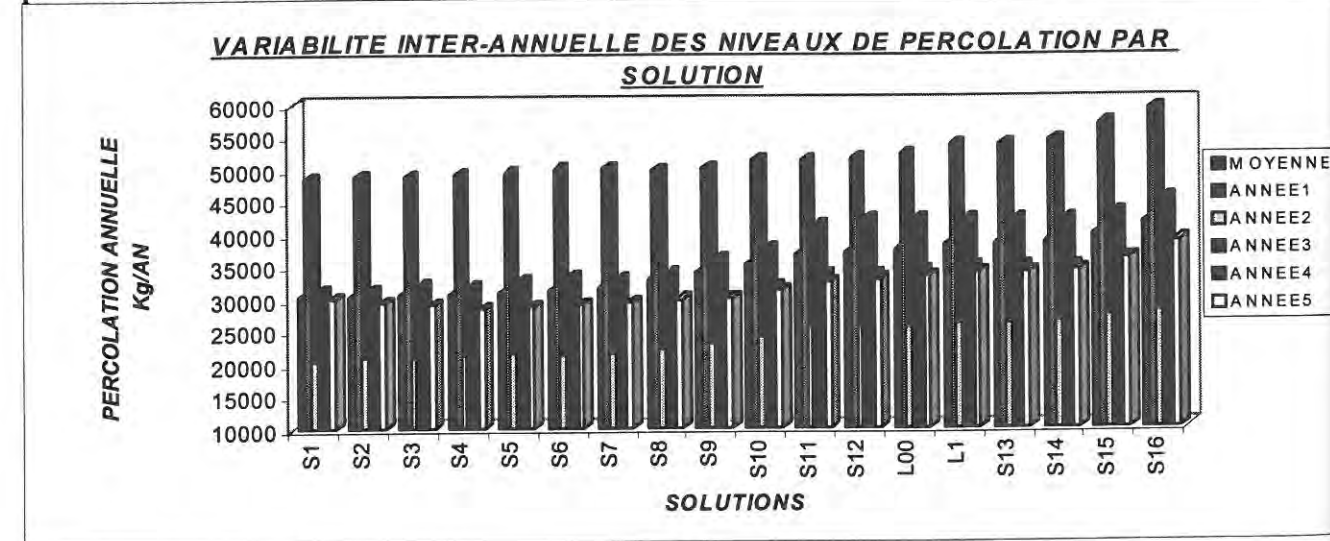
Pour ce qui est du reste des solutions déterminées à partir de la méthode NISE, nous avons pour chacune d'elles ce qui lui correspond comme revenu, percolation moyenne et divers niveaux de pollutions inter-annuels.

(voir tableau n°18).

Tableau n°18 : Description des résultats issus de la méthode NISE entre la marge directe et la percolation en considérant le risque environnemental de pollution.

MOYENNE DT	TOTAL PERCOL	MOYENNE PERCOL	PERCOL ANNEE1	PERCOL ANNEE2	PERCOL ANNEE3	PERCOL ANNEE4	PERCOL ANNEE5	Nombre de dépassement
134803.7	151204.7	30240.9	48445.9	20297.9	31274.6	21320.5	29865.7	1
175978.9	152096.8	30419.4	48901.0	20818.0	31147.4	21905.9	29323.8	1
180945.9	152346.1	30469.2	48781.9	20856.6	31944.5	21687.6	29075.4	1
191390.3	153248.9	30649.7	49205.4	21310.1	31676.3	22513.0	28544.0	1
206228.4	154918.9	30983.8	49276.0	21479.3	32750.3	22694.0	28719.0	1
217418.5	156521.5	31304.3	49682.3	21277.1	33247.3	23181.6	28953.8	1
224973.0	157989.1	31597.8	50038.6	21392.9	33052.4	24137.8	29360.4	1
249234.9	163228.4	32645.7	49724.1	21999.9	33802.0	27874.6	29827.7	1
273905.3	169178.1	33835.6	50152.8	22997.9	35890.5	30082.2	30054.6	1
296992.9	175461.7	35092.3	51118.8	23902.3	37638.8	31709.6	31092.2	1
322737.7	183617.9	36723.6	51192.7	25446.2	41070.5	33496.6	32411.9	2
328152.0	185490.0	37098.0	51523.6	25325.9	42033.3	33741.0	32866.2	2
341033.9	190770.8	38154.2	63725.8	26214.9	42074.3	34760.6	33995.8	2
343493.5	191811.4	38362.3	54147.5	26449.7	42180.3	34896.4	34137.6	2
355084.1	199120.0	39824.0	56837.4	27204.1	43020.9	36119.6	35938.0	2
361198.1	207632.3	41526.5	59147.0	27830.3	45238.9	36780.9	38635.2	3

Graphique 14 : Variabilité inter-annuelle des niveaux de percolation des nitrates en fonction des systèmes productifs et des climats.



Ces résultats seront très dépendants du climat de l'année considérée et de celui de l'année qui précède. Ainsi la première année où la pluviométrie a été faible et succédant à une année encore plus mauvaise, nous obtenons les niveaux de pollution les plus élevés, en raison des quantités d'azote non percolées l'année précédente par manque de pluviométrie en plus des apports relatifs à l'année en cours, du fait que les apports sont quasi-systématiques et ne prennent pas trop en considération les variations climatiques.

En même temps, lors de cette année, nous constatons que la pollution augmente de façon minime et même diminue par moment contrairement à la progression du revenu, ceci est dû à un recours intensif à l'irrigation qui favorise le développement végétatif par assimilation d'une partie des quantités d'azote encore abondantes dans le sol ; par contre, ces apports d'eau ont lieu sur des courtes périodes, engendrant ainsi la saturation des sols et accélérant la percolation. Quant à la deuxième année qui a bénéficié d'une très abondante et bénéfique pluviométrie, elle constitue l'année la moins polluante grâce à l'important développement végétatif qui a été favorisé par le climat qui a régné, valorisant ainsi une très grande partie des fertilisants apportés et limitant les quantités percolées. Pour ce qui est de la troisième année où la pluviométrie a été moyenne, les niveaux de percolation sont assez stables pour les premières solutions, nous remarquons que la progression du niveau de percolation par rapport à la progression du revenu est insignifiante et ceci jusqu'à la solution correspondant à la

marge directe = 296992.5 DT, donc, plus nous intensifions et mieux c'est, mais à partir de là, les variations de la pollution vont être plus importantes, c'est ce qui correspond à une diminution de la productivité des fertilisants azotés qui, combiné avec l'irrigation va favoriser la percolation.

Pour ce qui est de la quatrième année, elle est caractérisée par des niveaux de percolation légèrement supérieurs et des rendements légèrement inférieurs à ceux de la meilleure année avec, bien sûr, les mêmes quantités d'intrants, C'est ce qui se matérialisera par moins d'assimilation et plus de percolation. En ce qui concerne la cinquième année où la pluviométrie a été à son plus bas niveau, les quantités percolées sont assez faibles vu que les faibles pluviométries n'ont pas permis le lessivage des excès d'azote n'ayant pas été assimilés par les plantes. D'où l'existence d'un très grand risque de pollution l'année suivante.

2 - Analyse du conflit entre marge directe et érosion en considérant le risque environnemental de pollution.

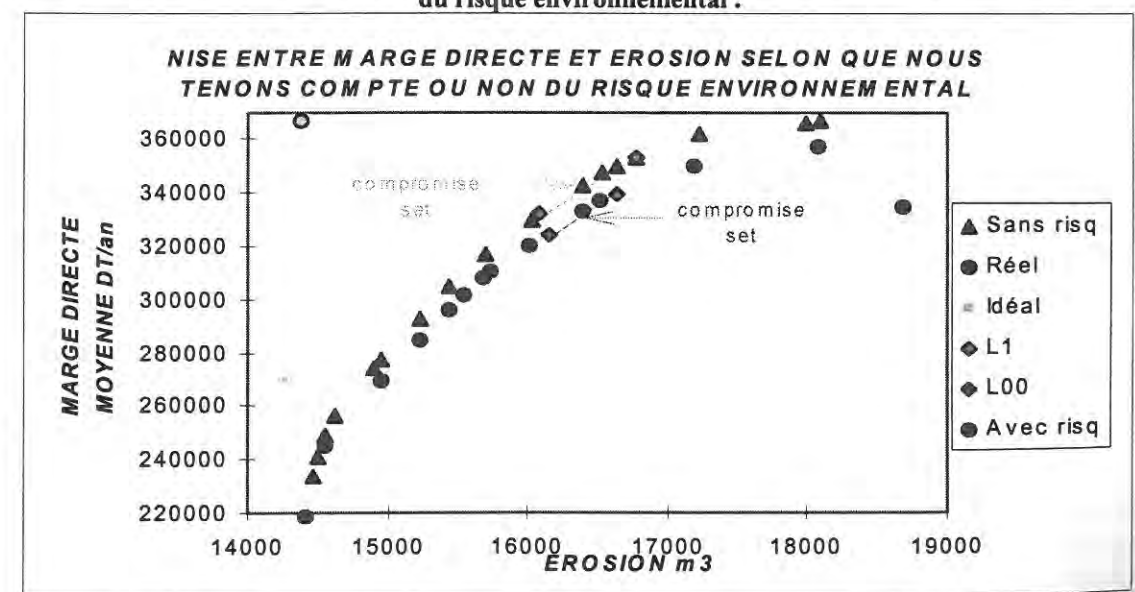
La considération de la contrainte environnementale de pollution lors de l'optimisation simultanée du revenu et du niveau d'érosion, nous fait aboutir aux deux points extrêmes efficients A= (356858.1 ; 18081.5 ; 201733.9) et B= (179596.9 ; 14390 ; 179397.2), (voir tableau n°19).

Tableau n°19 : Matrice de Pay-off.

Objectifs	Marge directe DT	Erosion totale m3	Percolation totale des Nitrates Kg
Maximiser la Marge Directe	356858.1	18081.5	201733.9
Minimiser la Percolation	179596.9	14390	179397.2

L'application de la méthode NISE à partir de ces deux points nous permettra de générer l'ensemble des solutions extrêmes efficientes. Dans le cas qui a précédé, l'introduction du risque a engendré une diminution du nombre de solutions possibles par rapport au cas où nous n'en tenons pas compte ; dans ce cas-ci, le risque aura beaucoup plus d'impact du fait que toute solution générée doit respecter simultanément trois conditions et qui sont la maximisation du revenu, la minimisation de l'érosion et le non dépassement du seuil annuel de pollution toléré. Ceci va se matérialiser par un déplacement de la courbe représentative de l'ensemble des solutions et donc un manque à gagner par rapport au cas où l'on ne tient pas compte des risques annuels de pollution, (voir graphique n°15).

Graphique 15 : Comparaison des résultats de la méthode NISE avec et sans considération du risque environnemental.



Le décalage entre les deux courbes sera d'autant plus important que le niveau de revenu progresse, donc plus le revenu augmente, plus le manque à gagner dû à la considération du risque environnemental devient important.

Ainsi, cette façon de procéder nous permettra d'obtenir, en plus des différentes combinaisons marge directe-érosion la limitation du risque dû à des hauts niveaux inter-annuels de pollution et de disposer des informations concernant le coût additionnel qu'engendrerait cette limitation. Informations indispensables pour une éventuelle aide, subvention ou réajustement de prix préalable, à la suite de ou en vue de l'adoption d'un des systèmes de production préconisés.

Comme nous l'avons déjà précisé dans ce qui a précédé, le nombre élevé de solutions déterminées par la méthode NISE peut handicaper le centre de décision d'où l'utilité de l'application de la méthode des compromis. Comme le montre le tableau n°14, le *compromise set* passera de (353447.1 ; 16783 ; 229103) pour L1 et (331724.5 ; 16087 ; 222813) pour L∞ à L1 = (339634 ; 16631.3 ; 1987021) et L∞ = (324430.7 ; 16049 ; 197137) pour le cas où nous considérons le risque environnemental de pollution.

Tableau n° 20 : Solutions générées par la méthode de compromis (marge directe-érosion) avec et sans risque.

	Marge directe	Erosion	Percolation des nitrates Kg
Avec risque			
L ₁	339634.0	16631.3	198702.1
L∞	324430.7	16149.1	197137.2
Sans risque			
L ₁	353447.1	16783	229103
L∞	331724.5	16087	222813
Situation de base	366491.8	18093	230113

Nous constatons ainsi que la prise en compte du risque entraînera des variations de - 3.9% à - 6.1% pour la marge directe, de -1% à - 0.2% pour l'érosion et de - 13.27% à - 11.52% pour la percolation des nitrates. Donc, les faibles diminutions du revenu seront compensées par une assez importante réduction de la percolation des nitrates et de leurs fluctuations par rapport à la moyenne. Et dans le but de comprendre l'origine de ces variations, nous nous proposons de comparer les principaux systèmes de production issus du *compromise set*. (voir tableau n°21).

Tableau n°21 : Description des systèmes de cultures générés par la méthode de compromis appliquée entre la marge directe et l'érosion avec et sans risque.

Solution avec risque			Solution sans risque		
Culture-Tech	L ₁ (ha)	L∞ (ha)	Culture-Tech	L ₁ (ha)	L∞ (ha)
BDS-T07	5.0	5.0	BDS-T07	5	5
BDS-T09	28.0	20.0	BDS-T10	42	26
BDS-T10	31.0	31.0	BDS-T11	33	10
BTS-T09	16.0	24.0	BTS-T06	-	15
CLZ-T08	11.6	33.0	BTS-T10	-	24
CLZ-T09	21.4	-	CLZ-T09	-	33
CLZ-T11	73.0	73.0	CLZ-T10	33	-
BDI-T16	97.0	87.6	CLZ-T11	73	73
BDI-T76	-	16.0	BDI-T76	-	13.3
BDI-T86	-	9.4	BDI-T96	97	97
TRI-T84	27.5	28.1	TRI-T94	28.1	28.1
VTI-T66	28.8	28.8	VTI-T66	28.8	28.8
VTO-T66	37.7	37.1	VTO-T66	37.1	37.1
BSI-T55	99.0	83.0	BSI-T85	109	95.7
BSI-T85	10.0	10.0			

La spécification des systèmes de cultures nous montre que les variations notées sont principalement dues à une réduction des surfaces allouées au Blé dur en sec (BDS) au profit du Blé tendre (BTS) et notamment à une

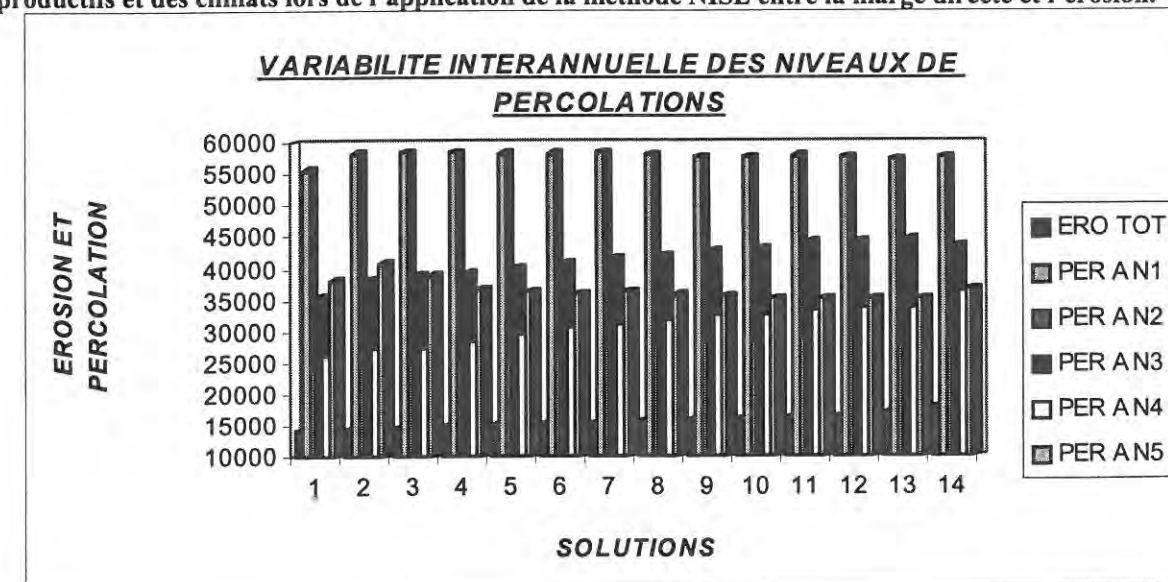
diminution des apports d'azote pour le Blé dur en sec, le Colza et le Triticale en irrigué. Mais la principale différence réside au niveau de la Betterave à sucre pour laquelle la plus grande partie des emblavures passera de la technique T85 à la technique T55, correspondant à beaucoup moins de fertilisant azoté.

Pour ce qui est du reste des solutions déterminées à partir de la méthode NISE, nous avons pour chacune de ces solutions, son correspondant en revenu, en érosion, en percolation moyenne ainsi que les divers niveaux de pollution inter-annuelle. Comme nous le montre le tableau n°22, ces résultats seront très dépendants du climat de l'année considérée et celui de l'année qui a précédé.

Tableau n°22 : Description des résultats issus de la méthode NISE appliquée entre la marge directe et l'érosion en considérant le risque environnemental de pollution.

MARGE DIRETE	EROSION TOTAL	PERCOL TOTAL	PERCOL MOYEN	PERCOL ANNEE1	PERCOL ANNEE2	PERCOL ANNEE3	PERCOL ANNEE4	PERCOL ANNEE5	Nombre dépassement
179596.9	14390.0	179397.2	35879.4	55562.7	23921.8	35512.1	26289.2	38111.3	2
218180.7	14423.2	189059.8	37811.9	58108.5	24679.9	38245.4	27280.3	40745.8	3
244991.9	14564.1	188233.4	37646.7	58259.9	24849.7	38897.3	27398.9	38827.7	3
269030.7	1955.5	188750.4	37750.1	58258.6	25891.7	39241.2	28546.6	36812.4	2
284327.0	15225.2	190987.4	38197.5	58188.0	26677.4	40097.0	29652.7	36372.3	2
295913.9	15442.5	192792.4	38558.5	58102.4	27321.9	40801.3	30540.6	36026.3	2
301574.0	15541.3	194876.0	38975.2	58335.3	27603.0	41536.9	31075.8	36325.0	2
307695.8	15678.5	195153.4	39030.7	57923.1	27857.6	41875.8	31636.3	35860.5	2
309974.2	15740.3	195300.0	39060.0	57908.3	27954.6	41951.0	31788.8	35697.2	2
319886.3	16015.7	197230.6	39446.1	57710.1	28427.9	42843.9	32706.9	35541.8	2
324430.7	16149.1	197137.2	39427.4	57622.2	28321.2	43188.7	32750.2	35255.0	2
332871.3	16388.1	199294.1	39858.8	57730.0	28792.2	44063.3	33423.5	35285.1	2
337216.7	16523.1	199918.5	39983.7	57624.3	29022.8	44397.1	33768.6	35105.7	2
339634.0	16631.0	198702.1	39740.4	57294.2	28406.2	44299.8	33814.7	34887.3	2
349824.4	17197.7	198680.7	39736.1	57210.1	27820.7	44551.6	33933.8	35164.5	2
356948.5	18081.5	201733.9	40346.8	57495.4	27476.4	43646.4	36427.0	36688.8	2

Graphique 16 : Variabilité inter-annuelle des niveaux de percolation des nitrates en fonction des systèmes productifs et des climats lors de l'application de la méthode NISE entre la marge directe et l'érosion.



Ainsi, au niveau de la première année où la pluviométrie a été faible et succédant à une année encore plus mauvaise, nous obtenons les plus importants taux de pollution et cela en raison, d'une part, des quantités résiduelles d'azote non percolé l'année précédente à cause de la faible pluviométrie enregistrée et, d'autre part, aux quantités de fertilisants additionnelles de l'année en cours, qui ont été engendré par une énorme pollution qu'on aurait pu éviter en connaissance de cause.

En même temps, au cours de cette année, nous constatons une diminution des quantités d'azote percolé parallèlement à l'augmentation de la marge directe, en décryptant les résultats portant sur la spécification des systèmes de production propres à chaque cas, nous remarquons que cette diminution est engendrée par une utilisation plus importante de l'irrigation qui favorisera le développement végétatif de la plante lui assurant ainsi une plus grande assimilation de l'azote encore présent dans le sol.

Par contre, l'année suivante, qui a bénéficié d'une très abondante et bénéfique pluviométrie, correspond à l'année la moins polluante vu que le climat qui a régné a permis d'avoir des récoltes abondantes et donc la plus grande partie des fertilisants azotés répandus ont été assimilés et valoriser par les cultures.

Quant à la troisième année, qui est considérée comme étant moyenne, nous notons un niveau de percolation pas trop différent du niveau toléré ; de même, nous constatons une augmentation simultanée de la marge et de la percolation qui est due à des apports additionnels de fertilisants : c'est ce qui se matérialise par une variation similaire de la marge directe et de la pollution.

Pour ce qui est de la quatrième année, elle sera caractérisée par des niveaux de percolation légèrement supérieurs à ceux de la deuxième année et une production assez abondante mais légèrement inférieure donc une assimilation des fertilisants moins importante.

En ce qui concerne de la cinquième année, qui est la pire des cinq, elle ressemble à l'année ayant précédé la première, elle est caractérisée par un niveau de percolation moyen et des faibles pluviométries qui ont empêché un important lessivage des fertilisants répandus ; par contre, nous voyons que nous avons parallèlement à l'augmentation de la marge, une diminution de la percolation et cela revient au fait que l'intensification se fait par une utilisation plus poussée de l'irrigation ce qui permettra de valoriser un peu plus les quantités en excès avec un risque toujours présent d'avoir une importante pollution l'année suivante.

Chapitre VI - Analyse de sensibilité

A partir des différents résultats obtenus à partir des simulations précédemment effectuées, nous avons constaté que l'apparition et la variation de la part occupée par certaines cultures et techniques influencent considérablement la solution finale (positivement ou négativement) au niveau de la pollution, de l'érosion et du revenu. Ainsi, l'apparition du blé tendre en sec, la fertilisation azotée du blé dur avec des doses n'excédant pas le niveau 7 en sec et 4 en irrigué, l'augmentation des emblavures réservées aux cultures fourragères, ajoutée à cela une légère diminution de superficies allouées à la betterave à sucre en faveur du blé dur nous permettrait de réduire considérablement la pollution en induisant par contre une légère diminution de marge directe. De même, la substitution d'une partie de la superficie exploitée par la betterave, par le blé dur et le triticale, ainsi, qu'une augmentation des emblavures réservées au blé dur en sec à la place du colza favoriserait une diminution des quantités de sol érodé.

Maintenant que nous avons une idée concernant les éléments sur lesquels il faudrait agir pour orienter la solution finale vers un quelconque objectif prédéfini, qui aura pour tâche de préserver à la fois l'utilité de l'exploitant et l'environnement, il nous reste à déterminer les instruments les plus efficaces à mettre en oeuvre pour inciter les producteurs à adopter, ou du moins à se rapprocher du niveau de production et des techniques préconisées par notre modèle.

Il existe sur le plan théorique, un grand nombre d'instruments qu'on pourra utiliser pour réaliser nos aspirations et qui peuvent être classés en trois grands groupes, à savoir :

- I. La persuasion morale
- II. L'établissement des normes
- III. Les instruments économiques

I - La persuasion morale

La persuasion ou conviction morale consiste à convaincre ou à pratiquer des pressions sur les agents économiques de telle manière qu'ils se sentent responsables des externalités négatives sur l'environnement résultant de leurs activités. Le résultat est que ces agents acceptent volontairement, ou par la voie de convention suite à des négociations avec les Gouvernements, de réduire ou d'éliminer complètement les externalités négatives.

Cet instrument paraît très puissant puisqu'il y a adhésion volontaire de la part des agents responsables des nuisances sur l'environnement. Implicitement, cet instrument part de l'hypothèse qu'il est possible d'améliorer la qualité de l'environnement sans affecter négativement le revenu des agents impliqués. Autrement dit, on suppose que les agents économiques se comportent d'une manière irrationnelle puisqu'ils ont choisi des solutions non optimales dans le sens de Pareto. Un tel comportement peut être observé dans la pratique et est essentiellement dû à une mauvaise maîtrise de la technologie. Il est par conséquent possible dans ces conditions de convaincre les agents de mieux utiliser la technologie afin d'améliorer la qualité de l'environnement et parfois même d'augmenter simultanément le revenu.

C'est sur ce même principe de base qu'on parle des *Best Management Practices* ou bonnes pratiques de gestion (LEATHERS H.T. - 1991). Cependant il est nécessaire d'évaluer l'impact de l'adoption des bonnes pratiques sur le fonctionnement de l'entreprise vu que sous certaines conditions, de telles adoptions pourraient impliquer une augmentation du risque (exemple d'une entreprise agricole où une plus grande variabilité des rendements a comme conséquence des apports fragmentés d'azote ou de l'élimination de certains types de traitements préventifs). De même, l'adoption de pratiques plus respectueuses de l'environnement peut entraîner l'augmentation de l'effort physique et/ou du temps alloué à l'activité et par conséquent une diminution de la productivité de l'emploi. On peut conclure donc que, pour une adhésion volontaire de la part des agents afin de réduire les externalités négatives, il faut que les solutions proposées par les institutions responsables remplissent les trois conditions nécessaires suivantes :

1. elles n'impliquent pas une diminution du revenu,

2. elles n'engendrent pas une augmentation du risque,
3. elles n'entraînent pas un alourdissement des tâches productives.

Uniquement sous ces conditions, il y aurait garantie de mise en oeuvre de telles pratiques.

II - L'établissement des normes

L'établissement des normes peut être de deux natures :

1. La réglementation des outputs et des sous-produits du processus de production ou des performances.
2. la réglementation du comportement des individus et organisations, des équipements ou des processus productifs.

1 - Les normes de performance

Les normes de performance laissent toute la liberté aux agents économiques de choisir le processus de production, la technologie et la combinaison des facteurs de production. La réglementation touche la quantité maximale d'un facteur polluant qui peut être émise dans l'environnement. Par exemple, la concentration des nitrates dans les eaux potables ne doit pas dépasser les 50 mg/l ou bien les 10 mg/l dans le cas de l'eau minérale. Il s'agit donc de réglementer les conséquences ou résultats observables des activités humaines. Ce type de réglementation est applicable aux industries polluantes où généralement les facteurs polluants émis sont facilement évalués qualitativement et quantitativement puisque les sources d'émission sont localisées et contrôlables.

Pour ce qui est de l'agriculture, étant donné la pollution diffuse qui la caractérise et les sources d'émission de facteurs contaminants nombreuses et disséminées, un problème énorme de contrôle des réalisations et de respect des règlements va donc se poser. Par contre, dans le cas où un accord est possible entre l'administration et les agents responsables de la pollution, l'établissement des normes peut aboutir à des résultats satisfaisants sur le plan environnemental.

2 - Les normes de comportement

Il s'agit de réglementer les normes et/ou les facteurs de production qui doivent être utilisés. (pour l'obtention d'un produit déterminé). Généralement, on indique les quantités maximales à appliquer et le temps de leur application. Un exemple de ce type de normes est la quantité maximale de fertilisant azoté à utiliser dans les zones vulnérables à la pollution par les nitrates. L'idée de base consiste à agir sur l'input ou le processus causant les dégâts environnementaux au lieu de réglementer les quantités des agents polluants. Dans notre exemple, on réglemente la quantité d'azote utilisée dans le processus de production et non pas la quantité de nitrates dans les eaux superficielles ou souterraines.

L'établissement de telles normes suppose donc une connaissance parfaite des relations de causes à effets. Ceci peut être vrai dans le cas de l'industrie où tous les facteurs de production sont contrôlables. Cependant, pour l'agriculture, le nombre des facteurs incontrôlables est assez élevé (climat, topographie, sol) et la diversité des exploitations est énorme, ce qui complique la tâche des chercheurs pour déterminer les relations de causalité. Les négociations entre agriculteurs et administration aboutiront difficilement à des solutions applicables.

En plus, même dans le cas positif d'un accord pour l'établissement d'une norme déterminée, celle-ci devra faire l'objet de réajustements périodiques afin de prendre en considération les nouveaux développements technologiques et l'effet des inputs substituants nouvellement créés.

L'un des inconvénients majeurs de l'établissement des normes de comportement, c'est d'éliminer la liberté de choix quant à la combinaison des facteurs de production, entraînant l'obligation des agents à se conformer aux prescriptions et parfois aux recettes pour produire un output déterminé. C'est à ce niveau que se manifeste l'utilité de l'approche multicritère qui permet de fournir aux exploitants une multitude de possibilités toutes efficaces, leur laissant la liberté de se positionner par rapport à l'une d'elles selon leurs propres convictions.

3 - Tentative d'utilisation des normes de comportements

En nous référant aux résultats des *compromise sets* où le respect de la contrainte environnementale de pollution est de rigueur, et en faisant calculer à chaque reprise la quantité moyenne d'ammonitrite répandue par hectare et par an selon que nous nous situons en sec ou en irrigué, nous trouvons que cette quantité oscille de 2.3 à 2.5 Qx/ha/an en sec et de 3.3 à 3.7 Qx/ha/an pour le périmètre irrigué. A partir de ces résultats, nous pouvons déjà avancer une norme à respecter. Par contre, si nous cherchons à être plus efficace et méticuleux dans le choix des normes, nous devons prendre en considération la variabilité climatique inter-annuelle qui, comme nous le savons, influence énormément la part de l'azote assimilée par les plantes et celle percolée.

Etant donné, d'une part, l'absence de moyen de prédiction fiable portant sur le climat qui régnera l'année suivante et d'autre part, la nécessité de fixer la norme en question bien avant le démarrage de la campagne agricole, nous n'avons d'autre alternative que de nous référer aux données se rapportant à la campagne agricole écoulée pour voir dans quel sens nous devons faire évoluer cette norme. Ainsi, en exploitant les constatations effectuées lors des précédentes simulations, nous pouvons proposer suite à une année à pluviométrie faible, d'abaisser la norme car c'est généralement dans ce contexte qu'apparaît l'année la plus polluante. Par contre, après une bonne année, nous pouvons maintenir la norme, voire même l'augmenter légèrement dans le cas où la nouvelle campagne s'annonce bonne.

La prise en compte de la variabilité inter-annuelle, va nous fournir les moyens d'évaluations, nous permettant ainsi de ne pas être rigide lors de la fixation de cette norme et de pouvoir la faire varier selon les circonstances.

III - Instruments économiques

La différence principale entre les instruments économiques ou incitatifs et l'établissement des normes, c'est que l'intervention de l'état se fait d'une manière indirecte. Cette intervention vise à influencer le comportement des agents économiques de telle manière qu'ils choisissent le processus ou la technologie de production la plus respectueuse à l'environnement. Les instruments économiques laissent une liberté totale aux agents économiques de répondre aux stimulants de telle manière qu'ils maximisent leurs bénéfices.

De plus, d'un point de vue économique les instruments de réglementation ont l'inconvénient d'être souvent plus coûteux que les instruments économiques pour atteindre un degré désirable de la qualité de l'environnement. Cropper et Oates (1992) citent plusieurs études de cas qui comparent les coûts d'internalisation des externalités négatives. Les résultats ont montré que les coûts d'internalisation sont plus élevés dans le cas des instruments de réglementation que dans le cas des instruments économiques. Cette différence de coûts est due principalement à l'information partielle à partir de laquelle les législateurs établissent les normes. Puisque les législateurs disposent d'informations imparfaites, ils ne peuvent donc pas prendre en considération la diversité des entreprises (taille, technologies, processus de production, degré d'utilisation des équipements etc...).

Les instruments économiques dans le monde réel d'information imparfaite ont l'avantage d'éviter le problème de collecter les informations concernant les coûts pour chaque entreprise. Chaque entreprise se chargera d'optimiser ses coûts en fonction des stimulants annoncés par l'administration publique. Milliman et Prince (1989) (cité dans Cropper et Oates, 1992) indiquent d'autre part que les instruments économiques stimulent la recherche et le développement de technologies moins polluantes et moins chères en comparaison avec les instruments de réglementation puisque les premiers donnent une valeur économique aux externalités négatives.

Les instruments économiques trouvent leurs origines dans la théorie des externalités. En fait, l'atteinte à l'environnement dans ce cadre est considérée comme un "mal" public ou coût social, résultant de la production de biens. S'agissant d'une nuisance ou externalité, il faut donc lui associer un coût afin que les producteurs de biens prennent en considération ce "mal" public et le réduisent lors de leurs décisions sur les produits, les processus et les technologies de production.

Il existe plusieurs catégories d'instruments économiques tels que les taxes, les subventions, les systèmes de dépôt-remboursement et la création de marché. Mais, dans le cas de notre étude, nous jugeons que l'un des instruments les plus efficaces, c'est l'imposition de taxe.

1 - Les taxes

Les taxes ont leur origine dans la théorie de Pigou. En fait, pour que les pollueurs cessent de contaminer l'environnement (bien public), un prix doit être affecté à ce dernier. Ce prix prend la forme d'une "taxe de Pigou" qui est un impôt égal à la valeur du dégât social marginal. Cette taxe doit être affectée en fonction du nombre d'unités de déchets émises à l'environnement.

Dans la pratique, la taxe de Pigou se heurte à deux problèmes fondamentaux qui la mettent en question. Le premier problème est en relation avec l'estimation de la valeur de cette taxe. En effet, pour mettre en oeuvre une telle taxe, il faut avoir des informations concernant les dégâts existants et les coûts de contrôle effectif d'une part, ainsi que les coûts et bénéfices marginaux. D'autre part, la taxe de Pigou est une taxe égale au dégât social marginal au niveau de production optimal. Pour cela, on doit donc connaître en premier lieu le degré de pollution optimal. Mais comme ces informations sont difficiles à obtenir, certains auteurs proposent de calculer la valeur de la taxe de Pigou comme égale à la valeur marginale du dégât effectif et l'ajuster au fur et à mesure que le niveau de la pollution change. Cropper et Oates (1992) indiquent que même cette procédure simplifiée n'est pas garantie. Le second problème en relation avec une taxe pigouvienne, c'est que dans plusieurs cas, il est difficile de quantifier les déchets émis dans l'environnement, comme c'est le cas de la pollution agricole diffuse. Pour éviter ce problème, on trouve dans la pratique divers types de taxes, telles que les taxes sur les produits et les facteurs de production.

Au cours de la production de certains biens, on assiste à des atteintes à l'environnement strictement liées à ces productions. La taxe sur les produits est une taxe imposée sur le prix des produits dont les phases de production ou de consommation sont polluantes (OCDE, 1989). Généralement, ces taxes sont introduites dans le prix de revient et transférées complètement aux consommateurs. Seuls les consommateurs payent pour la pollution produite. Les producteurs ne seront affectés que lorsqu'il existe des produits substituables non polluants qui soient moins chers.

La taxe sur le prix des inputs ou facteurs de productions est une taxe qui est imposée lorsque, dans un processus de production déterminée, il y a une relation causale entre l'utilisation d'un input et la pollution de l'environnement. Il s'agit donc d'augmenter le prix du facteur de production afin de réduire la quantité utilisée pour enfin diminuer la pollution. Cette taxe doit être estimée en se basant sur la fonction de production d'une part et la relation causale facteur de production-pollution. La connaissance de ces deux relations est nécessaire pour pouvoir estimer le montant de la taxe à imposer sur le prix de l'input. Ce type de taxe est souvent utilisé dans les processus où on trouve des difficultés d'estimation et de quantification des éléments polluants.

Un exemple de ce type de taxe est l'imposition sur le prix de fertilisant azoté d'une taxe afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates ; tel est le cas en Norvège et en Suède (OCDE, 1989). L'Office National de l'Assainissement prélève une taxe sur la quantité d'eau consommée pour qu'elle soit utilisée comme coût d'épuration des eaux usées. Dans ce cas, il y a une relation étroite entre eau consommée et eau usée. Cependant, il peut y avoir une différence quant à la concentration des éléments polluants dans l'eau usée entre les différents usagers. Les difficultés de mesures de ces concentrations constituent un obstacle à la mise en oeuvre d'un instrument plus équitable que celui utilisé actuellement.

Pour qu'une taxe ait l'effet désiré sur la qualité de l'environnement et soit économiquement efficace, elle doit être imposée directement sur la quantité d'éléments nocifs. Toutes les autres impositions sur le prix des facteurs ou produits sont des "Second Best" solutions auxquelles on fait recours pour des raisons d'ordre technique telles que la difficulté de mesure et de quantification des éléments polluants.

2 - Tentative d'utilisation des instruments économiques

Comme plusieurs autres pays en voie de développement, la Tunisie n'a pas été épargnée par la crise économique mondiale, c'est ce qui l'a déterminée à la suite de la recommandation de la Banque Mondiale et du F.M.I., à adopter un vaste programme d'ajustement structurel dès le début de l'année 1986. Ce programme visait à rétablir les équilibres macro-économiques à court terme et à libérer les initiatives et rétablir pleinement les mécanismes de marché dans l'économie.

L'un des éléments importants de ce plan, est le Programme d'Ajustement Structurel appliqué au secteur Agricole (PASA), qui vise à améliorer les performances du secteur et cela en libérant et ajustant les prix à la production progressivement, pour les rapprocher des prix internationaux de référence et éliminer les subventions sur les intrants afin d'asseoir le développement de la production sur des bases économiques saines.

A - Sensibilité aux variations du prix de l'eau

L'eau constitue certainement pour le moment, le produit le plus subventionné par rapport à son prix de revient (à-peu-près 70 %), d'où l'utilité d'étudier la sensibilité de la solution du modèle au réajustement progressif du prix au niveau des orientations de production, des performances économiques et environnementales (l'étude de sensibilité est effectuée par rapport au modèle de base).

Aucune modification n'intervient au niveau du système de culture pour des prix inférieurs à 0,15 DT, mais à partir de ce prix qui est très proche du prix de revient réel estimé à 0,16 DT, la solution subit des changements notables du fait qu'on arrive à faire baisser la pollution jusqu'à 208001 kg et l'érosion à 17046 m³, mais le grand inconvénient, c'est la marge directe qui subit une très importante chute, soit de 366491 DT à 265397 DT ($\approx 26\%$) rendant toute tentative d'action à travers le prix de l'eau totalement inefficace.

B - Sensibilité aux variations du prix de l'azote

En raison de l'élimination progressive des subventions, le prix de l'ammonitrite n'a pas cessé d'évoluer, d'où l'utilité de voir les répercussions des prix futurs sur le système de production. Pour le moment, la part des subventions est de 20,7 %, mais très prochainement, elle sera supprimée ce qui fera passer le prix de 17,3 à 21,9^D. L'adoption du prix réel ne provoque aucune modification sur le système de production. Un seul changement apparaît au niveau de la marge directe qui passe de 366491 DT à 357418 DT.

Par contre, à partir d'une augmentation du prix hors subvention de 10 %, le système de production subit des modifications qui affecte ainsi la pollution et la marge directe mais dans des proportions faibles et insignifiantes. En effet, pour une perte sur le revenu de 4297,1 DT soit 1,2 %, on arrive à réduire la pollution de 4678,3 kg soit 2,03%.

L'étude de sensibilité du modèle aux prix de l'eau et de l'ammonitrite, dénote une certaine rigidité des systèmes de production quant à une augmentation dans les normes des prix de ces facteurs, qui se traduit par le gaspillage constaté lors de l'utilisation de ces ressources.

Bien qu'au niveau de cette région, il y ait une certaine tendance à l'utilisation apparemment excessive d'engrais azotés, dans le reste du pays, la moyenne d'utilisation est en dessous des normes préconisées et beaucoup reste à faire pour inciter les agriculteurs à s'aligner sur les normes étant donné la précarité des moyens matériels dont ils disposent, la difficulté d'approvisionnement et parfois l'ignorance des règles agronomiques de base. Tous ces facteurs rendent impossible toute augmentation du prix de l'ammonitrite au-delà de son prix réel.

C - Sensibilité du modèle aux variations du prix du concentré

Vu que la progression des superficies fourragères engendre une diminution aussi bien de la pollution que de l'érosion, nous avons essayé de provoquer cette augmentation d'une façon indirecte et cela en agissant sur les prix du concentré, ce qui encouragera normalement les exploitants à développer les productions fourragères.

A partir d'une augmentation de 10 % du prix du concentré, les cultures fourragères réalisent une progression de 12 %, sauf que cette variation aura quelque méfait sur le revenu qu'on essayera d'atténuer par une légère majoration du prix du lait (voir tableau).

D - Sensibilité du modèle aux variations des différents prix

Bien que le fait d'agir sur le prix du concentré et du lait permette de déplacer la solution dans le sens souhaité, ce déplacement s'avère cependant insuffisant, d'où l'utilité de tester l'influence de leurs combinaisons avec d'autres changements apportés au niveau des prix des produits tel que le blé dur, le blé tendre et le triticale, pour lesquels les prix seraient à la hausse ainsi que le colza et la betterave où les prix seront à la baisse (les variations

des prix n'excéderaient pas les 15 %). Après avoir testé la sensibilité du modèle en fonction des prix des différents produits, il s'est avéré que c'est à ce niveau que le modèle est le plus sensible.

Nous avons commencé cette analyse de sensibilité par la betterave à sucre qui constitue à la fois la culture la plus rentable, la plus polluante et la plus érosive. Les diverses simulations effectuées sur le prix de cette culture nous ont montré qu'à partir d'une réduction de prix de 23 %, l'emblavure qui lui est réservée passera de 109 ha à 74 ha. Cette perte de superficie se fera au profit du blé dur, c'est ce qui provoquera une diminution des quantités d'azote percolé, de sol érodé et de marge directe. De même, la superficie réservée au colza diminuera considérablement à partir d'une dévalorisation de son prix de 19 %.

Pour ce qui est du blé dur et du blé tendre, une valorisation respective de leurs prix d'environ 19 % et 27 %, permettra une extension de leur superficie aux dépens du colza et des cultures fourragères en sec et au dépend de la betterave pour le blé dur en irrigué.

Le problème, c'est que de tels changements se rapportant d'une façon unilatérale à un seul produit auront pour inconvénient de taxer soit le producteur soit le consommateur. A partir de là, nous avons tenté de tester divers changements de prix à la fois, tout en cherchant à réduire les atteintes à l'environnement et à garantir au producteur un revenu proche de celui de la solution de base.

Ainsi, il s'est avéré que le passage du prix de la betterave de 3,34 DT à 2,82 DT par quintaux \approx -15,5 %, couplé avec une augmentation respective du blé dur et du blé tendre de 8,6 % et 15,9 %, ainsi qu'une diminution du prix du colza de 5,8 %, à laquelle on ajoute une augmentation du prix de l'eau de 18 %, nous permettent d'obtenir une solution presque équivalente à celle de la solution de base pour le revenu, tout en réduisant considérablement la pollution et l'érosion : on obtient ainsi une marge directe de 360370,2 DT (- 1,67 %), une percolation d'azote de 187386 kg (-18,5 %) et une érosion (- 9,53 %).

Tableau n°23 : Comparaison entre le modèle de base et le modèle simulé.

	Marge Directe DT	Percolation des nitrates (Kg)	Erosion (m ³)
Total	360370.2	187386	16363
/ha/an	741.502	77.11	6.73
Total	366491	230113.3	18093
/ha/an	754.096	94.69	7.445

Graphique 17 : Comparaison de la solution simulée par rapport à la solution de base.

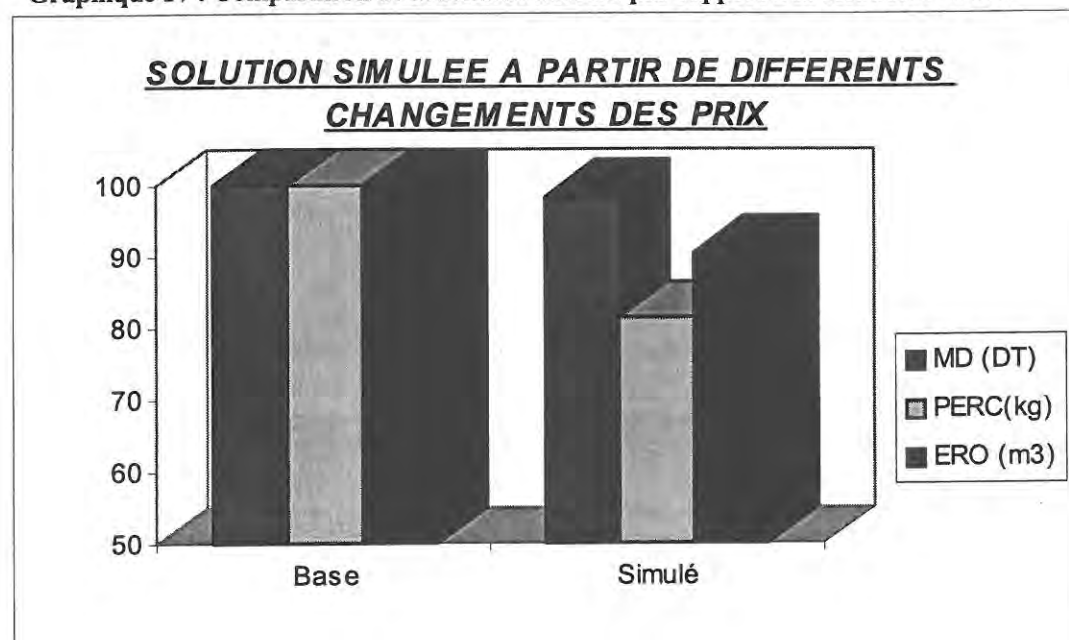


Tableau n°24 : Description du système de culture de la solution simulée.

Solution simulée		Solution de base (ha)	
BDS-T09	47	BTS-T07	25
BDS-T10	66	BDS-T10	47
VAS-T08	37	BDS-T11	56
CLZ-T09	36	CLZ-T10	58
BTI-T72	56.9	BTI-T72	34.9
BDI-T85	132	BDI-T96	97
VTO-T56	37.1	VTI-T66	22
BSI-T85	74	VTO-T66	37.1
		BSI-T85	109

Par contre, nous avons remarqué en raison des simulations faites, que le modèle est toujours rigide vis-à-vis des changements du prix de l'azote. De même pour l'orge et la vesce qui n'arrivent pas à rentrer dans le système de culture retenu même pour des revalorisations de prix d'environ 35 %.

A partir des simulations faites, on peut voir que plusieurs scénarios peuvent être envisagés, mais cela dépendra bien sur des aspirations du centre de décision concerné.

Conclusion

La recherche toujours croissante pour maximiser le profit et subvenir aux besoins du marché a fait naître une tendance à l'intensification agricole. Bien que cette orientation ait permis d'améliorer la qualité de notre alimentation et de réduire son coût, elle n'a pas manqué pour autant d'être à l'origine de plusieurs atteintes graves à notre environnement.

En effet, les producteurs agricoles responsables de ces diverses atteintes à l'environnement sont économiquement indifférents aux externalités dont ils sont responsables, étant donné qu'ils ne tiennent compte que des coûts privés et ne supportent pas les coûts réels ou coûts sociaux de production, qui s'expriment pour la société par la valeur de l'ensemble des facteurs de production consommés, y compris les biens environnementaux.

En voulant traiter ce problème et chercher les moyens adéquats pour faire converger les objectifs privés et sociaux, on se trouve automatiquement face à une situation conflictuelle, entre d'une part les producteurs qui sont le plus souvent figés par rapport à un seul mode de conduite, et pour qui tout changement serait synonyme de risque croissant et de crise matérielle probante, sauf si ce changement prône une intensification plus poussée que celle pratiquée, et d'autre part, les planificateurs, qui sont les mieux informés des répercussions provoquées par les systèmes de production en place sur l'environnement et la population environnante qui est doublement touchée, étant donné la détérioration de leur cadre de vie, et l'augmentation continue des coûts d'épuration et de retraitement qui viennent grever leurs factures, tel que le cas du barrage Sidi-Salem en Tunisie qui est largement affecté par les méfaits des techniques de production pratiquées dans les périmètres irrigués situés en amont de ce dernier qui est sérieusement menacé de salinisation, d'eutrophisation et d'envasement.

Pour un pays à production alimentaire excédentaire, face à une telle situation, le problème ne serait pas aussi épineux, il suffirait de fixer des normes de production et d'inciter les exploitants à extensifier, en contre partie d'aides et de subventions attribuées de manière large (comme c'est le cas dans la CEE) et le problème serait en partie résolu, mais dans le cas d'un pays comme la Tunisie qui n'arrive encore pas à assurer sa sécurité alimentaire et où une lutte sans merci est lancée pour préconiser aux producteurs d'accroître leur productivité à travers une plus grande utilisation des fertilisants compte tenu du fait que la moyenne nationale en quantité d'engrais épandus par hectare de SAU est de 20kg/ha alors qu'elle est de 289kg/ha dans un pays comme la France (Agrostat-FAO). C'est ce qui fait que toute idée de diminution des apports en produits fertilisants serait mal perçue. Sauf que ces chiffres matérialisent mal la réalité car ils ne reflètent pas la grande disparité régionale, étant donné qu'une région comme Béja (notre région d'étude), ne se situe pas loin des moyennes européennes et arrive même à les dépasser.

En effet pour une région comme Béja, où une telle situation conflictuelle existe, nous avons cherché à l'aide d'un modèle biophysique et selon divers scénarios climatiques inspirés de la réalité, d'évaluer différents systèmes de productions existants, de prédire leurs rendements ainsi que les diverses atteintes portées à l'environnement ; ensuite, ces résultats nous ont permis à travers un modèle mathématique multiobjectifs de déterminer les différents plans de production possibles, en tenant compte des conflits existant entre l'érosion, la pollution par les nitrates et le revenu, à la suite de quoi nous avons cherché à restreindre les solutions possibles à des intervalles limités et situées le plus près possible des solutions idéales.

Afin d'être plus perspicace dans notre raisonnement, nous avons cherché à mettre en exergue l'importance de la considération climatique. Ainsi l'introduction d'un risque environnemental ayant trait à la limitation de la pollution inter-annuelle par rapport à une moyenne tolérée, nous a permis de mettre en évidence la corrélation existante entre les quantités de fertilisants azotés et les circonstances climatiques dans lesquelles ils ont lieu.

Ces différentes solutions nous ont montré qu'il était possible de remédier à la situation qui prévalait sans pour autant porter atteinte aux revenus des exploitants, bien au contraire, on leur fournit les moyens de préserver leur patrimoine terre ou du moins de diminuer les atteintes qui lui sont portées et de garantir sa perpétuation.

Ainsi, nous avons tenu compte simultanément du revenu et de la pollution, du revenu et de l'érosion et enfin des trois objectifs combinés ensemble et dans les trois cas, nous avons montré qu'il nous était possible de trouver des systèmes de cultures qui garantissent pour de faibles baisses de revenus, de restreindre considérablement

l'atteinte à l'environnement. Ces différentes possibilités seront comprises dans des intervalles 'compromise set' procurant par là-même un certain degré de liberté et une marge de variabilité aux agriculteurs dans le choix des systèmes de production le plus approprié.

Après avoir démontré l'existence de moyens permettant de résoudre la situation conflictuelle face à laquelle nous nous trouvons, nous avons essayé de parcourir les différents outils qu'on pourrait mettre en vigueur pour inciter les agriculteurs à adopter ou à se positionner dans l'un des intervalles précédemment déterminés, mais étant donné le scepticisme qui caractérise les exploitants agricoles, une réticence de leur part serait fort possible quant à l'adoption d'une des solutions présentées. Nous avons commencé par voir dans quelle mesure il nous serait possible de tester les normes de comportement sous la forme de norme moyenne de fertilisation, afin de savoir comment, à quel niveau et selon quelles conditions il faudra les faire varier de façon à maximiser leur efficacité. Suite à quoi nous avons essayé de tester l'efficacité de l'instrument économique qu'il faudrait adopter à ce moment et qui nous semble être le moyen de persuasion le plus efficace. Ainsi, à travers divers changements de prix des inputs et des outputs dans des proportions réalistes, nous sommes arrivés à des systèmes de production qui répondent aux conditions que nous nous sommes fixés, soit préserver aussi bien l'environnement que l'utilité des producteurs.

En effet, ce moyen nous a permis de déterminer les intervalles de prix où l'on pourrait intervenir pour contraindre les producteurs à s'orienter vers les systèmes de production que nous jugeons être les plus appropriés face à la situation qui prévalait, avec l'avantage qu'aucune des solutions retenues ne risque d'affecter d'une façon notable l'utilité des producteurs.

Toutefois, nous sommes conscients des limites du présent travail que nous essayerons de développer dans un travail futur.

Annexes

Annexe 1 - Le modèle de programmation mathématique

OPTION LIMROW=0
OPTION LIMCOL=0

*****INDICES*****

*

SETS

C Cultures /BDS,BTS,TRS,ORV,ORG,VAS,VTS,VAF,VTF,AVS,VES,CLZ,BTI,BDI,
TRI,VAI,VTI,VAO,VTO,BSI/

CI(C) Cultures Irrigables /BTI,BDI,TRI,VAI,VTI,VAO,VTO,BSI/

CS(C) Cultures Sec /BDS,BTS,TRS,ORV,ORG,VAS,VTS,VAF,VTF,AVS,VES,CLZ/

CF(C) Cultures four /ORV,VAI,VTI,VAO,VTO,VAS,VTS,VAF,VTF/

COMPLE /CONC1,CONC7,PAIL,PULPBS/

ITER iterations

/IT1*ITS/

IT(ITER)

/IT1/

IN INTRANTS/ILLOXAN,GRANSTAR,DQD,GRASP,FILSYNTHE,PLASTIC,SUPER45,POTASSE,DAP,
PYRADEX,KARATE,RUFWAN,TREFLAN,MAZOLINE,SEMBD,SEMBT,SEMTRI,SEMVAI,
SEMVTI,SEMBSI,SEMMAF,SEMRGI,SEMBRI,SEMBER,SEMVES,SEMOR,SEMAVS,SEMCLZ/

DIVERS /QTITE,PRIN /

ANX Animaux /VAL,GEN,VE,TAUR,BREB,BREB1,ANTSE,AGNL,BELI,ANTS,AGNX/

ANXB(ANX) Bovins /VAL,GEN,VE,TAUR/

ANXO(ANX) Ovins /BREB,ANTSE,AGNL,BELI,ANTS,AGNX/

PDC Poids du Cheptel /10*650/

M Périodes de temps mensuelles /M1*M12/

A Incertitude climatique /A1*A5/

T Technique d'intensification /T01*T09,T10*T16,
T21*T26,T31*T36,T41*T46,T51*T56,
T61*T66,T71*T76,T81*T86,T91*T96/

CAIN Capacité Ingestion /KGMS/

;

ALIAS (C,PC)

;

SETS

AC(C,T,PC) Activités Cultures-Techniques-Précédent cultural

/BDS.(T01*T11).(BTS,TRS,ORV,ORG,VAS,VAF,VTF,AVS,VES,CLZ,VTS),

BTS.(T01*T11).(BDS,TRS,ORV,ORG,VAS,VTS,VAF,VTF,AVS,VES,CLZ),

TRS.(T01*T11).(BDS,BTS),

ORV.(T01*T07).(BDS,BTS),

ORG.(T01*T07).(BDS,BTS),

VAS.(T01*T09).(BDS,BTS),

VTS.(T01*T09).(BDS,BTS),

VAF.(T01*T09).(BDS,BTS),

VTF.(T01*T09).(BDS,BTS),

AVS.(T01*T11).(BDS,BTS),

VES.(T01*T04).(BDS,BTS),

CLZ.(T01*T11).(BDS,BTS),

BDI.(T11,T16,T21,T22,T26,T31*T33,T36,T41,T43,T46,T51,T53*T56,T66,T76,

T83,T86,T96).(BTI),

BDI.(T11*T16,T21,T23,T31,T41,T46,T54,T56,T64,T66,T74,T76,T86,T94,T96).

(BSI)
 BDI.(T11*T16,T21,T22,T26,T31*T33,T36,T41,T43,T46,T53,T56,T63*T66,T76,
 T84*T86,T96).(TRI)
 BDI.(T11,T16,T21,T22,T25,T26,T31,T32,T41,T45,T46,T52,T53,T55,T63,T64,
 T65,T73,T75,T76,T85,T86,T95,T96).(VTO)
 BDI.(T11,T14,T15,T16,T21,T22,T24,T25,T31,T32,T42,T45,T53,T65,T75,T82,T85,
 T95).(VAO)
 BDI.(T11,T15,T16,T21,T22,T25,T26,T31,T32,T35,T36,T41,T42,T44,T46,T51,T53,
 T56,T63,T65,T73,T75,T76,T81,T83,T85,T86,T95,T96).(VTI)
 BDI.(T11,T14,T15,T16,T24,T25,T31,T32,T34,T35,T41,T42,T45,T46,T51*T54,T65,
 T75,T76,T84,T85,T95).(VAI)
 BTI.(T11,T14,T21,T24,T25,T31*T36,T41,T42,T45,T52,T55,T65,T72,T74,T75,T85,
 T94,T95).(BDI),
 BTI.(T11,T12,T16,T22,T25,T32,T36,T42,T45,T51,T52,T56,T66,T73,T74,T75,T85,
 T92,T95).(TRI),
 BTI.(T11,T16,T21,T23,T26,T31,T33,T41,T46,T51,T56,T62,T66,T71,T76,T86,T92,
 T93).(VAO),
 BTI.(T11,T13,T15,T21,T25,T31,T33,T41,T44,T46,T51,T55,T56,T65,T71,T72,T75,
 T84,T91*T96).(VTO),
 BTI.(T11,T13,T16,T21,T23,T26,T33,T36,T41,T46,T51,T56,T62,T71,T76,T84,T86,
 T91*T93).(VAI),
 BTI.(T11,T15,T16,T21,T25,T31,T33,T41,T46,T51,T55,T56,T65,T66,T71*T76,T81*T86,
 T94*T96).(VTI),
 TRI.(T11,T16,T21,T26,T31,T36,T41,T46,T51,T52,T56,T62,T66,T71,T72,T73,T76,
 T84,T86,T95,T96).(BTI),
 TRI.(T11,T15,T16,T21,T25,T31,T32,T35,T36,T41,T42,T45,T46,T51,T52,T55,T56,
 T61,T62,T65,T66,T72,T75,T76,T82*T85,T93*T95).(BDI),
 BSI.(T55,T65,T75,T85,T95).(BTI,VAI,VTI,VAO,VTO,TRI),
 VAI.(T11*T16,T21*T23,T26,T31,T36,T42,T46,T56,T66).(BDI),
 VAI.(T11*T16,T21,T22,T23,T66).(BTI),
 VTI.(T11*T16,T21,T22,T26,T31,T36,T46,T56,T65,T66).(BDI),
 VTI.(T11*T16,T21,T22,T26,T31,T32,T36,T46,T56,T66).(BTI),
 VAO.(T11*T16,T26,T36,T46,T56,T66).(BDI),
 VAO.(T11*T16,T22,T26,T31,T36,T46,T51,T66).(BTI),
 VTO.(T11*T16,T26,T36,T46,T56,T66).(BDI),
 VTO.(T11*T16,T21*T23,T32,T66).(BTI)/;

*****DONNEES*****

SCALARS

PRDL	Production par vache et par lactation	/4500/
TXFB	Taux de fécondité chez les bovins	/0.75/
SER	Sex ratio	/0.5/
TXRB	Taux de réforme chez les bovins	/0.25/
TXFO	Taux de prolificité chez les ovins	/1.15/
PRLAIT	Prix du lait	/0.35/
PRPAIL	Prix de la paille	/0.35/
PRCONC7	Prix d achat du concentré	/23.028/
PRCONC1	Prix d achat du concentré	/22.2/
PRTAUR2	Prix de vente des taurillons	/250/
PRVAL	Prix de vente des vaches réformées	/600/
PRVAGN	Prix de vente des agneaux et agnelles	/70/
PRBREB	Prix de vente des ovins réformés	/90/
PRVBEL	Prix de vente des béliers	/110/
TXRO	Taux de réforme des Brebis	/0.25/
PRXAZOT	Prix de l azote	/17.3/
PRXHTPM	Prix du travail pneumatique par Heure	/5.377/
PRXLOCTPM	Prix de location du travail pneumatique par Heure	/9.4/
PRXHTMB	Prix du travail Moissonneuse par Heure	/14.996/
PRXLOCTMB	Prix de location du travail Moissonneuse par Heure	/42/
PRIXEAU	Prix de l'eau	/0.048/

SAU	Taille de l'exploitation (ha)	/ 486/
SIR	Superficie Irriguée (ha)	/ 300/
SEC	Superficie Sec (ha)	/ 186/
λ		/30000/

PARAMETERS SAUPC(*) Dernier assolement

/BDS	73
BTS	33
TRS	10
ORV	10
ORG	5
VAS	8
VTS	8
VAF	8
VTF	8
AVS	8
VES	5
CLZ	10
BTI	35
BDI	94
TRI	10
VAI	16
VTI	16
VAO	16
VTO	16
BSI	97/

PHII(ITER)

/IT1	0.2
IT2	0.2
IT3	0.4
IT4	0.6
IT5	0.8/

SALMOO(M) Salaire journalier de la moo /M1*M12 4.2/

HTD(M) jours de travail de MOP disponible par mois pour les cultures /M1*M12 284/

CHTPMD(M) Coût du travail pneumatique disponible par heure /M1*M12 4.752/

CHTMBD(M) Coût du travail MB disponible par heure /M1*M12 9.2/

HTPMD(M) Heures de travail pneumatique disponible par mois

/M1	1150
M2	1220
M3	1340
M4	1400
M5	1680
M6	1680
M7	1680
M8	1680
M9	1680
M10	1550
M11	1420
M12	1330 /

HTMBD(M) Heures de travail MB disponible par mois /M1*M12 480/

RDP(C) proportion de la paille produite en balles par rapport aux cultures

/BDI	5.25
BDS	5.25
BTI	5.25

BTS 5
 AVS 5.75/
 CLPM(M) Coût de location du travail pneumatique par heure /M1*M12 9.4/

CLMB(M) Coût de location de la MB par Heure /M1*M12 37.29/

CHEPINB(ANXB) Cheptel Bovin initial

/VAL 87
 GEN 50
 VE 55
 TAUR 22 /

CHEPINO(ANXO) Cheptel Ovin initial

/BREB 246
 ANTSE 374
 AGNL 104
 BELI 29
 ANTS 13
 AGNX 73/

UFV(CF) UF Viande par Kg de matière sèche

/ORV 0.74
 VAI 0.70
 VTI 0.65
 VAO 0.55
 VTO 0.66
 VAS 0.70
 VTS 0.65
 VAF 0.55
 VTF 0.50 /

UFVC(COMPLE) UF Viande par Kg de matière sèche

/CONC1 0.77
 CONC7 1.02
 PULPBS 0.98
 PAIL 0.34/

MAD(CF) Matière Azotée digestible au niveau de l'intestin des vaches en gr

/ORV 74
 VAI 58
 VTI 54
 VAO 40
 VTO 37
 VAS 58
 VTS 54
 VAF 40
 VTF 37 /

MADC(COMPLE) Matière Azote digestible au niveau de l'intestin des vaches en gr

/CONC1 95
 CONC7 75
 PULPBS 49
 PAIL 5/

PARAMETER MATSEC(C) Taux de matière sèche par produit

/ORV 0.210

VAI 0.271
 VTI 0.290
 VAO 0.915
 VTO 0.922
 VAS 0.271
 VTS 0.290
 VAF 0.915
 VTF 0.922 /

PARAMETER MATSECC(COMPLE) Taux de matière sèche par produit

/CONC1 0.83
 CONC7 0.81
 PULPBS 0.146
 PAIL 0.94 /

PARAMETER CAPAINGB(ANXB) capacité d'ingestion du cheptel Bovin

/GEN 7.9
 VE 5.5
 VAL 12.5
 TAUR 8.2/

PARAMETER CAPAINGO(ANXO) capacité d'ingestion du cheptel Ovin

/BREB 1.7
 ANTSE 1.6
 BELI 2.2
 ANTS 1.7
 AGNL 1.0
 AGNX 1.1/

TABLE BESOINPDB(ANXB,M) Besoin Nutritif du Cheptel par jour (MAD EN gr par jour)

M1*M12 VAL 380;

PARAMETER BESOINPDFB(ANXB) Besoin Nutritif Fixe du Cheptel par jour (MAD EN gr par jour)

/GEN 435
 VE 315
 TAUR 490/

TABLE BESOINPDO(ANXO,M) Besoin Nutritif du Cheptel par jour (MAD en gr par jour)

M1*M12
 BREB 45
 ANTSE 85
 BELI 93
 ANTS 90
 AGNL 84
 AGNX 80;

TABLE BESOINUFB (ANXB,M) Besoin Nutritif du Cheptel par jour UF par jour M1*M12 VAL 5.2

PARAMETER BESOINUFFB(ANXB) Besoin Nutritif Fixe du Cheptel par jour UF par jour

/GEN 5.4
 TAUR 6.5
 VE 2.9/ ;

TABLE BESOINUFO (ANXO,M) Besoin Nutritif du Cheptel par jour UF par jour

M1*M12
 BREB 0.62
 ANTSE 1.05
 BELI 1.1
 ANTS 1.08

```

AGNL 0.93
AGNX 0.98 ;
PARAMETER BESGESTBA(ANXB) Besoin de gestation des vaches laitières MAD /VAL 120 /
PARAMETER BESGESTBUF(ANXB) Besoin de gestation des vaches laitières /VAL 1.31 /
PARAMETER BESGESTOUF(ANXO) Besoin de gestation des Brebis en UF /BREB 0.9/
PARAMETER BESGESTOA(ANXO) Besoin de gestation des Brebis en MAD /BREB 86/
PARAMETER BESLAITBA(ANXB) Besoin de MAD pour la production laitière par litre de lait /VAL 60/
PARAMETER BESLAITBUF(ANXB) Besoin de UFL pour la production laitière par litre de lait /VAL 0.43/
PARAMETER BESLAITOUF(ANXO) Besoin en UF pour la production laitière par litre de lait /BREB 0.68/
BESLAITOA(ANXO) Besoin en MAD pour la production laitière par litre de lait /BREB 104/
QEAU(M) Quantité d'eau disponible /M1*M12 160000/
PXV(C) Prix des végétaux (n1=1993)
/BDS 25.10
BTS 21.10
TRS 15.52
ORG 16.50
AVS 20.00
VES 25.18
CLZ 34.14
BTI 21.10
BDI 25.10
TRI 15.52
BSI 3.340 /
ASSUR(C) Coût des assurances des végétaux par hectare (n1=1993)
/BDS 14.737
BTS 14.500
TRS 14.470
AVS 7.689
VES 3.750
CLZ 16.375
BTI 14.160
BDI 13.675
TRI 14.250
VAF 1.536
VTF 1.536
VAO 1.536
VTO 1.536/;
*****CALCULS*****
*

```

```

Table RDT(C,T,PC,A) Rendement des cultures par an Qx par ha
$INCLUDE c:\GAMS386\data\YLD.BEJ
;

```

```

Table PERC(C,T,PC,A) Percolation d'azote (Kg par ha)
$INCLUDE c:\GAMS386\data\PERC.BEJ
;

```

```

Table MUSL(C,T,PC,A) Erosion hydrolique (mm)

```

```

$INCLUDE c:\GAMS386\data\EROS.BEJ
;
Table BHTPM(C,M) Besoin en heures de travail pneumatique par mois
$INCLUDE c:\GAMS386\data\TRAC.BEJ
;
Table BHTMB(C,M) Besoin en heures de la moissonneuse batteuse par mois
$INCLUDE c:\GAMS386\data\MB.BEJ
;
Table BMOJ(C,M) Besoin en jours de MO par ha par culture et par mois
$INCLUDE c:\GAMS386\data\MO.BEJ
;
PARAMETER INTRANTT(C,IN) Quantité des différents intrants utilisés
$INCLUDE c:\GAMS386\data\INTRANT.BEJ
;
PARAMETER PRIXINT(IN) Prix des différents intrants utilisés
$INCLUDE c:\GAMS386\data\PRIXINT.BEJ
;
PARAMETER INTRANT(C) cout des intrants par culture et par ha;
INTRANT(C)=SUM(IN,INTRANTT(C,IN)*PRIXINT(IN));
PARAMETER COUTTPM(C) cout du travail pneumatique;
COUTTPM(C)=SUM(M,BHTPM(C,M)*CHTPMD(M));
PARAMETER COUTTMB(C) cout du travail MB;
COUTTMB(C)=SUM(M,BHTMB(C,M)*CHTMDB(M));
TABLE CONSEAUM(C,T,M) Quantité d'eau consommée
$INCLUDE c:\GAMS386\data\CONSEAUM.BEJ
;
PARAMETER CONSEAU(C,T) Quantité d'eau consommée par culture et par technique;
CONSEAU(C,T)=SUM(M,CONSEAUM(C,T,M));
parameter CONSAZOT(C,T) Quantité d'azote apportée
$INCLUDE c:\GAMS386\data\CONSAZOT.BEJ
;
Table CALAND(CF,M,ANX)
$INCLUDE c:\GAMS386\data\CALAND.BEJ
;
Table CALANDF(CF,ANX)
$INCLUDE c:\GAMS386\data\CALANDF.BEJ
;
PARAMETERS
YM(C,T,PC) Rendement moyen
;
YM(C,T,PC)=sum(A,RDT(C,T,PC,A))/card(A);
SCALAR PHI;
*****MODELE*****
*
VARIABLE
U
DEV(A)
QCONC1
QCONC2
QCONC3
QCONC4
QCONC5

```

QCONC6
QCONC7
QCONC8
QCONC9
QCONC10
QCONC11
QCONC12
QCONC13
QCONC14
QCONC15

X(C,T,PC) Hectare par culture
NIT Perte d'azote par percolation
ERO Erosion
MBT Marge Directe totale
COUTMOO Coût de la MOO
COUTRVTOT Cout total de la MO
STOCK Stock de paille en kg
Z Marge Brut totale
Z1 Marge Directe totale
ECTY Ecart type
COUCONC Cout total du concentré,
PAILLE Stock de paille destiné à la vente
MBPAILLE Produit paille
VENTAUR Produit vente taureau
VENTVAL Vente de vaches laitières réformées
QTITLAIT Quantité de lait vendue
VENTAGN Vente des agneaux et des agnelles
VENTBRB Vente des brebis
MOO(M) Main d'oeuvre occasionnelle
LTP(M) Location Travail Pneumatique
LMB(M) Location MB
QCONC(COMPLE) Quantité par complément
BESTUF Besoin en UF

;

POSITIVE VARIABLE X,MOO,LTP,LMB,QTITLAIT,VENTAGN,VENTVAL,COUCONC,VENTAUR,
COUTRVTOT,PAILLE,QCONC1,QCONC2,QCONC3,QCONC4,QCONC5,QCONC6,QCONC7,
QCONC8,QCONC9,QCONC10,QCONC11,QCONC12,QCONC13,QCONC14,QCONC15
,MBT,MBPAILLE;

EQUATION

UTIL L'utilité considérée (dans ce cas c'est la marge directe)
LTERRE Contrainte de superficie
TERRE(pc) Contrainte de rotation des cultures en fonction du PC
TERIRG Superficie irriguée
TERSEC Superficie sec
MADTO Marge Directe totale
PRMOO Cout du travail occasionnel
COUTRAV Cout total du travail de la MO
MBTAUR Produit de vente des taureaux
COUCONC Cout du concentré
REFORVAL Produit total des Vaches laitières réformées
VENTOVI Vente des agneaux et agnelles
VENTBREB Vente des brebis
LAIT Quantité de lait vendu
STOKPAIL Stock de l'année en paille
MBPAIL Produit paille
ALIMENTATP(COMPLE)

ALIMENTAC1(COMPLE)
ALIMENTAC7(COMPLE)
ALIMENTPBS(COMPLE)
CONTBULBS(COMPLE)
BESENTUFVL(M) Besoin nutritif d'entretien par vache en UFV
BESENTUFG1 Besoin nutritif d'entretien par genisse 1 en UFV
BESENTUVEL Besoin nutritif d'entretien par veaux en UFV
BESENTUFT1 Besoin nutritif d'entretien par Taurillon 1 en UFV
BESENTAZVL(M) Besoin nutritif d'entretien par vache en MAD
BESENTAZG1 Besoin nutritif d'entretien par genisse 1 en MAD
BESENTAVEL Besoin nutritif d'entretien par velle en MAD
BESENTAZT1 Besoin nutritif d'entretien par Taurillon 1 en MAD
BESVL(M) Besoin nutritif d'entretien par vache en UFV
BESG1 Besoin nutritif d'entretien par genisse 1 en UFV
BESVEL Besoin nutritif d'entretien par velle en UFV
BEST1 Besoin nutritif d'entretien par Taurillon 1 en UFV
BESENTUFO(M) Besoin nutritif d'entretien par type d'ovins en UF
BESENTPDO(M) Besoin nutritif d'entretien par type d'ovins en MAD
CAPINGVL(M) Capacité d'ingestion des vaches laitières
CAPINGT1 Capacité d'ingestion des taurillons
CAPINGG1 Capacité d'ingestion des genisses
CAPINGVEL Capacité d'ingestion des veaux
POLLUTION Quantité moyenne d'azote percolé sur cinq ans
EROSION Quantité moyenne de sol érodé sur cinq ans
TRAVAILPM(M) Travail pneumatique
TRAVAILMO(M) Travail de la MO
TRAVAILMB(M) Travail MB
CONTIRR(M) Contrainte d'irrigation
RISQ1(A) Déviations négatives
RISQ2 Contrainte de risque
ECART Ecart type
MABTOCAL Marge brute totale

;

UTIL..Z1=L=U;

MADTO..sum((C,T,PC)\$ (AC(C,T,PC)),X(C,T,PC)*PXV(C)*YM(C,T,PC))
+(VENTAGN+VENTBRB+VENTVAL+MBPAILLE+VENTAUR+QTITLAIT-COUCONC-
COUTRVTOT)
-sum((C,T,PC)\$ (AC(C,T,PC)),X(C,T,PC))
*(INTRANT(C)+COUTTPM(C)+COUTTMB(C)+CONSAZOT(C,T)*PRXAZOT
+CONSEAU(C,T)*PRIXEAU+ASSUR(C))=E=Z1;
RISQ1(A)..sum((C,T,PC)\$ (AC(C,T,PC)),X(C,T,PC)*PXV(C)*RDT(C,T,PC,A))
+MBPAILLE+VENTAGN+VENTBRB+VENTVAL+VENTAUR+QTITLAIT-COUCONC-COUTRVTOT
-sum((C,T,PC)\$ (AC(C,T,PC)),X(C,T,PC))
*(INTRANT(C)+COUTTPM(C)+COUTTMB(C)+CONSAZOT(C,T)*PRXAZOT
+CONSEAU(C,T)*PRIXEAU+ASSUR(C))-DEV(A)=E=Z1;

ECART .. SQRT(SUM(A,SQR(DEV(A)))/5)=E= ECTY;

RISQ2..PHI*ECTY=L=λ;

MABTOCAL..sum((C,T,PC)\$ (AC(C,T,PC)),X(C,T,PC)*PXV(C)*YM(C,T,PC))
+(VENTAGN+VENTBRB+VENTVAL+MBPAILLE+VENTAUR+QTITLAIT-COUCONC)
-sum((C,T,PC)\$ (AC(C,T,PC)),X(C,T,PC))
*(INTRANT(C)+CONSAZOT(C,T)*PRXAZOT
+CONSEAU(C,T)*PRIXEAU+ASSUR(C))=E=Z;

REFORVAL..CHEPINB('VAL')*TXRB*PRVAL=G=VENTVAL;
VENTOVI..CHEPINO('BREB1')*TXFO*PRVAGN=G=VENTAGN;
VENTBREB..CHEPINO('BREB')*TXRO*PRBREB=G=VENTBRB;
LAIT..CHEPINB('VAL')*TXFB*PRDL*PRLAIT=G=QTITLAIT;
MBTAUR..CHEPINB('TAUR')*0.5*PRTAUR2=G=VENTAUR;

COUCON..QCONC('CONC1')*PRCONC1+QCONC('CONC7')*PRCONC7=L=COUCONC;
 STOKPAIL..sum((C,T,PC)\$AC(C,T,PC)),X(C,T,PC)*YM(C,T,PC)*RDP(C)
 -QCONC('PAIL')/5-PAILLE =G=0;

MBPAIL..PAILLE*PRPAIL=G=MBPAILLE;

TERRE(pc)..sum((C,T)\$AC(C,T,PC)),X(C,T,PC)=E=SAUPC(pc);
 LTERRE..sum((C,T,PC),X(C,T,PC))=E=SAU;
 TERIRG..sum((CI,T,PC)\$AC(CI,T,PC)),X(CI,T,PC)=E=SIR;
 TERSEC..sum((CS,T,PC)\$AC(CS,T,PC)),X(CS,T,PC)=E=SEC;
 CONTIRR(M)..SUM((C,T,PC),X(C,T,PC)*CONSEAU(C,T,M))=L=QEAU(M);

POLLUTION..sum((C,T,PC,A)\$AC(C,T,PC)),PERC(C,T,PC,A)*X(C,T,PC)=E=NIT;
 EROSION..sum((C,T,PC,A)\$AC(C,T,PC)),MUSL(C,T,PC,A)*X(C,T,PC)=E=ERO;
 TRAVAILPM(M)..sum((C,T,PC)\$AC(C,T,PC)),X(C,T,PC)*BHTPM(C,M)=L=HTPMD(M)+LTP(M);
 TRAVAILMO(M)..sum((C,T,PC)\$AC(C,T,PC)),X(C,T,PC)*BMOJ(C,M)=L=JTD(M)+MOO(M);
 PRMOO..SUM(M,MOO(M)*SALMOO(M))=E=COUTMOO;
 COUTRAV..COUTMOO+83123.4=E=COUTRVTOT;
 TRAVAILMB(M)..sum((C,T,PC)\$AC(C,T,PC)),X(C,T,PC)*BHTMB(C,M)=L=HTMBD(M)+LMB(M);

BESENTUFVL(M).. CHEPINB('VAL')*BESOUFVB('VAL',M)*30.5
 +CHEPINB('VAL')*BESGESTBUF('VAL')*TXFB*90/12
 +CHEPINB('VAL')*BESLAIUBUF('VAL')*TXFB*4500/12
 -sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 CALAND(CF,M,'VAL')*X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100
 -QCONC1('PULPBS',M)*UFVC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 -QCONC2('CONC7',M)*UFVC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 -QCONC3('CONC1',M)*UFVC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 =L=0;

BESENTUVEL.. CHEPINB('VE')*BESOUUFFB('VE')*365
 -(sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'VE')*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100)
 -QCONC4('CONC1')*UFVC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 -QCONC5('CONC7')*UFVC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 =L=0;

BESENTUFT1.. CHEPINB('TAUR')*BESOUUFFB('TAUR')*365
 -sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'TAUR')*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100
 -QCONC6('PULPBS',M)*UFVC('PULPBS')*MATSECC('PULPBS')*100
 -QCONC9('CONC7')*UFVC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 -QCONC11('PAIL')*UFVC('PAIL')*MATSECC('PAIL')*100
 -QCONC10('CONC1')*UFVC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 =L=0;

BESENTUFG1.. CHEPINB('GEN')*BESOUUFFB('GEN')*365
 -sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'GEN')*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100
 -QCONC7('CONC1')*UFVC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 -QCONC8('CONC7')*UFVC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 =L=0;

BESENTUFO(M).. CHEPINO('BREB')*BESOUUFO('BREB',M)*30.5
 +CHEPINO('BREB')*BESGESTOUF('BREB')*TXFO*60*0.214/12
 +CHEPINO('BREB')*BESLAIUOF('BREB')*TXFO*1400*0.214/12
 -sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 CALAND(CF,M,'BREB')*X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100
 -QCONC12('PULPBS',M)*UFVC('PULPBS')*MATSECC('PULPBS')*100
 -QCONC13('CONC7',M)*UFVC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 -QCONC14('CONC1',M)*UFVC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100

-QCONC15('PAIL',M)*UFVC('PAIL')*MATSECC('PAIL')*100
 =L=0;

BESENTAZVL(M).. CHEPINB('VAL')*BESOUVPDB('VAL',M)*30.5
 +CHEPINB('VAL')*BESGESTBA('VAL')*TXFB*90/12
 +CHEPINB('VAL')*BESLAIUBA('VAL')*TXFB*4500/12
 -(sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALAND(CF,M,'VAL')*MATSEC(CF)*MAD(CF)*100)
 -QCONC1('PULPBS',M)*MADC('PULPBS')*MATSECC('PULPBS')*100
 -QCONC2('CONC7',M)*MADC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 -QCONC3('CONC1',M)*MADC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 =L=0;

BESENTAZT1.. CHEPINB('TAUR')*BESOUVPDFB('TAUR')*365
 -sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'TAUR')*MATSEC(CF)*MAD(CF)*100
 -QCONC6('PULPBS',M)*MADC('PULPBS')*MATSECC('PULPBS')*100
 -QCONC9('CONC7')*MADC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 -QCONC11('PAIL')*MADC('PAIL')*MATSECC('PAIL')*100
 -QCONC10('CONC1')*MADC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 =L=0;

BESENTAVEL.. CHEPINB('VE')*BESOUVPDFB('VE')*365
 -sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'VE')*MATSEC(CF)*MAD(CF)*100
 -QCONC4('CONC1')*MADC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 -QCONC5('CONC7')*MADC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100=L=0;

BESENTAZG1.. CHEPINB('GEN')*BESOUVPDFB('GEN')*365
 -sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'GEN')*MATSEC(CF)*MAD(CF)*100
 -QCONC7('CONC1')*MADC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 -QCONC8('CONC7')*MADC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 =L=0;

BESENTPDO(M).. CHEPINO('BREB')*BESOUVPDO('BREB',M)*30.5
 +CHEPINO('BREB')*BESGESTOA('BREB')*TXFO*60*0.214/12
 +CHEPINO('BREB')*BESLAIUOA('BREB')*TXFO*1400*0.214/12
 -(sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 CALAND(CF,M,'BREB')*X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*MATSEC(CF)*MAD(CF)*100)
 -QCONC12('PULPBS',M)*MADC('PULPBS')*MATSECC('PULPBS')*100
 -QCONC13('CONC7',M)*MADC('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
 -QCONC14('CONC1',M)*MADC('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
 -QCONC15('PAIL',M)*MADC('PAIL')*MATSECC('PAIL')*100
 =L=0;

ALIMENTATP('PAIL').. QCONC11('PAIL')+SUM(M,QCONC15('PAIL',M)) =L=QCONC('PAIL');
 ALIMENTAC1('CONC1')..SUM(M,QCONC3('CONC1',M))+QCONC4('CONC1')+QCONC10('CONC1')+
 QCONC7('CONC1')+SUM(M,QCONC14('CONC1',M))=L=QCONC('CONC1');
 ALIMENTAC7('CONC7')..SUM(M,QCONC2('CONC7',M))+QCONC5('CONC7')+QCONC9('CONC7')+
 QCONC8('CONC7')+SUM(M,QCONC13('CONC7',M))=L=QCONC('CONC7');

ALIMENTPBS('PULPBS')..SUM(M,QCONC1('PULPBS',M))+QCONC6('PULPBS')
 +SUM(M,QCONC12('PULPBS',M))=L=QCONC('PULPBS');
 CONTBULBS('PULPBS')..SUM((T,PC),X('BSI',T,PC))*70*0.8=E=QCONC('PULPBS');

CAPINGVL(M)..(sum((CF,T,PC)\$AC(CF,T,PC)),
 CALAND(CF,M,'VAL')*X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*MATSEC(CF)*100)
 +QCONC1('PULPBS',M)*MATSECC('PULPBS')*100
 +QCONC2('CONC7',M)*MATSECC('CONC7')*100
 +QCONC3('CONC1',M)*MATSECC('CONC1')*100
 =L=CAPAINGB('VAL')*365*CHEPINB('VAL');

```
CAPINGVEL..sum((CF,T,PC)$AC(CF,T,PC)),
X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'VE')*MATSEC(CF)*100
+QCONC4('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
+QCONC5('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
=L-CAPAINGB('VE')*365*CHEPINB('VE');
```

```
CAPINGT1..sum((CF,T,PC)$AC(CF,T,PC)),
X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'TAUR')*MATSEC(CF)*100
+QCONC6('PULPBS')*MATSECC('PULPBS')*100
+QCONC9('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
+QCONC11('PAIL')*MATSECC('PAIL')*100
+QCONC10('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
=L-CAPAINGB('TAUR')*365*CHEPINB('TAUR');
```

```
CAPINGG1..sum((CF,T,PC)$AC(CF,T,PC)),
X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'GEN')*MATSEC(CF)*100
+QCONC7('CONC1')*MATSECC('CONC1')*100
+QCONC8('CONC7')*MATSECC('CONC7')*100
=L-CAPAINGB('GEN')*365*CHEPINB('GEN');
```

```
BESVL(M)..0.65*CHEPINB('VAL')*BESOINUFB('VAL',M)*30.5
-sum((CF,T,PC)$AC(CF,T,PC)),
CALAND(CF,M,'VAL')*X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100)
-QCONC1('PULPBS',M)*MATSECC('PULPBS')*UFVC('PULPBS')*100=L=0;
```

```
BESVEL..0.6*CHEPINB('VE')*BESOINUFB('VE')*365
-sum((CF,T,PC)$AC(CF,T,PC)),
X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'VE')*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100)
=L=0;
```

```
BEST1..0.6*CHEPINB('TAUR')*BESOINUFB('TAUR')*365
-sum((CF,T,PC)$AC(CF,T,PC)),
X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'TAUR')*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100)
-QCONC6('PULPBS')*MATSECC('PULPBS')*UFVC('PULPBS')*100
-QCONC11('PAIL')*MATSECC('PAIL')*UFVC('PAIL')*100
=L=0;
```

```
BESG1..0.65*CHEPINB('GEN')*BESOINUFB('GEN')*365
-sum((CF,T,PC)$AC(CF,T,PC)),
X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALANDF(CF,'GEN')*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100)
=L=0;
```

```
BESOV(M)..0.7*CHEPINO('BREB')*BESOUFO('BREB',M)*30.5
-sum((CF,T,PC)$AC(CF,T,PC)),
X(CF,T,PC)*YM(CF,T,PC)*CALAND(CF,M,'BREB')*MATSEC(CF)*UFV(CF)*100)
-QCONC12('PULPBS',M)*MATSECC('PULPBS')*UFVC('PULPBS')*100
-QCONC15('PAIL',M)*MATSECC('PAIL')*UFVC('PAIL')*100
=L=0;
```

MODEL BEJA25 /ALL/;

```
PARAMETER RESULTS(*,*,*);
OPTION RESULTS:1:3:1;
PARAMETER RESULTI(*,*,*);
OPTION RESULTI:1:3:1;
```

```
LOOP(IT,
PHI=PHII(IT);
```

```
SOLVE BEJA25 USING NLP MAXIMIZING U;
RESULTS(CS,T,PC,IT)=X.L(CS,t,pc);
```

```
RESULTS('HA',CS,T,IT)=SUM(PC,X.L(CS,t,pc));
RESULTI(CI,T,PC,IT)=X.L(CI,t,pc);
RESULTI('HA',CI,T,IT)=SUM(PC,X.L(CI,t,pc));
RESULTI('SAU','TOT','HA',IT)=SUM((C,T,PC),X.L(C,T,PC));
RESULTI('POL','TOT','HA',IT)=NIT.L/10;
RESULTI('ERO','TOT','HA',IT)=ERO.L/10;
RESULTI('Z1','TOT','HA',IT)=Z1.L;
RESULTI('Z','TOT','HA',IT)=Z.L;
RESULTI('ECTY','TOT','HA',IT)=ECTY.L;
RESULTI('U','TOT','HA',IT)=U.L;
```

```
display resultS;
display resultI;
```

```
SAUPC(C)=sum((PC,T),X.L(C,T,PC));
)
```

La description des coefficients utilisés dans le modèle est disponible à l'IAMM et peut être demandée à M. G. Flichman :

Flichman@iamm.fr.

Annexe 2 - Table des graphiques et tableaux

Tableaux

1. Batiments d'exploitation	11
2. Utilisation du sol	12
3. Calendrier fourrager	28
4. Comparaison entre le modèle de base et le modèle réel	35
5. Matrice de <i>Pay-off</i> .	35
4. Solutions générées par la méthode de compromis (percolation marge directe).	36
5. Description des systèmes de cultures générées par la méthode de compromis appliquée entre la percolation et la marge directe.	37
8. Répercussion de la méthode des compromis sur le reste des résultats lors de la prise en compte de la percolation et de la marge directe.	39
9. Solutions générées par la méthode des compromis (érosion et marge directe).	40
10. Description des systèmes de cultures générées par la méthode des compromis lors de la prise en compte de l'érosion et de la marge directe.	40
11. Répercussion de la méthode des compromis sur le reste des résultats lors de la prise en compte de l'érosion et de la marge directe.	42
12. Solutions générées par la méthode des compromis appliqués aux 3 objectifs.	43
13. Description des systèmes de cultures générées par la méthode des compromis lors de la prise en compte des 3 objectifs	44
14. Répercussion de la méthode des compromis sur le reste des résultats lors de la prise en compte des 3 objectifs.	44
15. Matrice de <i>Pay-off</i> .	45
16. Solutions générées par la méthode de compromis (percolation marge directe) avec et sans considération du risque environnementale.	46
17. Description des systèmes de cultures générées par la méthode de compromis appliquée entre la percolation et la marge directe avec et sans risque.	47
18. Description des résultats issus de la méthode NISE entre la marge directe et la percolation en considérant le risque environnemental de pollution.	48
19. Matrice de <i>Pay-off</i> .	49
20. Solutions générées par la méthode de compromis (marge directe-érosion) avec et sans risque.	50
21. Description des systèmes de cultures générés par la méthode de compromis appliquée entre la marge directe et l'érosion avec et sans risque.	50
22. Description des résultats issus de la méthode NISE appliquée entre la marge directe et l'érosion en considérant le risque environnemental de pollution.	51
23. Comparaison entre le modèle de base et le modèle simulé	58
24. Description du système de culture de la solution simulée.	59

Graphiques

1. Validation du modèle EPIC.	22
2. Résultats de l'application du modèle EPIC pour la culture BDI (BTI):	22
3. Efficience économique des techniques simulées pour BTI (BDI).	23
4. Résultats de la sélection sur la culture BTI (BDI) (charges variables).	24
5. Résultats de la sélection sur la culture BTI (BDI) (Erosion pollution)	25
6. Résultats de la méthode NISE appliquée entre la marge directe et la percolation.	37
7. <i>Compromise set</i> avec $W1=W2=1$.	38
8. <i>Compromise set</i> avec $W1=2$ et $W2=1$.	38
9. Résultats de la méthode NISE appliquée entre l'érosion et la percolation.	40
10. <i>Compromise set</i> avec $W1=W2=1$.	41

11. <i>Compromise set</i> avec $W1=2$ $W2=1$.	42
12. Variabilité de $L1$ et $L\infty$ par rapport à la solution de base.	43
13. Comparaison des résultats de la méthode NISE avec et sans considération du risque environnemental de percolation de nitrates.	45
14. Variabilité inter-annuelle des niveaux de percolation des nitrates en fonction des systèmes productifs et des climats.	48
15. Comparaison des résultats de la méthode NISE avec et sans considération du risque environnemental	49
16. Variabilité inter-annuelle des niveaux de percolation des nitrates en fonction des systèmes productifs et des climats lors de l'application de la méthode NISE entre la marge directe et l'érosion.	51
17. Comparaison de la solution simulée par rapport à la solution de base.	58

Bibliographie

1. ABDOULI, H ; KRAEIM, K.- *Tables des valeurs alimentaires des aliments couramment utilisées en Tunisie dans l'alimentation du bétail*, 1989.- 24p.- (Ecole Supérieure Agronomique de Mograne).
2. BIFAD.- *Board for International Food and Agricultural Development Task force : environmental and natural resources. Strategy for sustainable development - Washington .-*
3. BLANCO, M.- *Analyse des impacts socio-économiques et des effets sur l'environnement des politiques agricoles : modélisation de l'utilisation agricole des ressources en eau dans la région espagnole de Castille-Leon.-* Montpellier : IAM, 1995 .- 171p.- (Master of Science).
4. BOUSSEMART J P; FLICHMAN, G ; JACQUET, F ; LEFER, H B.- *L'évaluation micro-économique de la réforme de la PAC par un modèle bio-économique : une illustration sur la Beauce de la région de Toulouse*, 1994.- 25p.- (Communication présentée aux 11èmes journées de micro-économie appliquée, GREQAM - Marseille, 2-3 Juin 1994).
5. BOUSSARD J M ; DAUDIN, JJ.- *La programmation linéaire dans les modèles de production - Paris : Masson, 1988.- 125p.- (Actualité Scientifique et Agronomique de l'INRA).*
6. BOUSSARD J M ; FLICHMAN, G ; JACQUET, F.- *Projet : Les comparaisons internationales d'efficacité en agriculture.-* (Convention d'étude CIHEAM-Ministère de l'Agriculture-CNRS-Commission Générale au plan-INRA).
7. BOUSSARD, JM.- *Economie de l'agriculture.-*Paris: Economica, 1987.- (Economie Agri. & Agro-alimentaire).
8. BROWN, BJ et Al.- *Global sustainability: towards definition.- Environmental Management*,# 11(6) p:713-719, 1987.
9. CHENERY, H B.- *Engineering Production Function.- Quarterly Journal of Economic*, no 63, 1949 .- p:507-531.
10. CROPPE, ML ; OATES, W E.- *Environmental Economics : A Survey.- Journal of Economic Literature*, vol 30 p 675 -740.
11. DEYBE, D.- *Politique pour une agriculture durable : essai sur la gestion de ressources naturelles renouvelables.* Paris : Université de Paris I - Panthéon - Sorbone, 1992 . (Thèse doctorat).
12. DOVER, R H; TALBOT, L M.- *To feed the earth : agro-ecology for sustainable development.-*Washington D.C : Word Resource Institute, 1987.-
13. FLICHMAN, G.- *Type d'exploitation agricole : alternatives productives et compétitivité.-* Paris : Ministère de la Recherche et de la Technologie. Avril 1986.- 7p.- (Communication préparée pour le colloque, Diversification des modèles de développement rural : Questions et méthode)
14. FLICHMAN, G.- *International comparisons of efficiency in agricultural production.-* Paris : OECD Development Centre, 1990.- 53p.- (Technical papers n°21).
15. HANLEY, N.- *The economics of nitrates pollution .- European Revue of Agriculture.-* no 17, 1990.- p 129-152.-
16. HAZEL, P B R ; NORTON, R D.- *Mathematical programming for economic analysis in agriculture .-* New York : 1986 .- (Mac Millan Publishing Compagny).
17. HENIN, S.- *L'évolution de l'eau : facteur de production et de risque pour l'agriculture L'agriculture et la gestion des ressources renouvelables* no 208-209 Mars-Juin 1992.-

18. JACQUET-LAGREZE, E.- *Concept et modèle en analyse multicritère.*- Jacquet-Lagrece.E et Siskos.J.-
Méthode de décision multicritère.- Monographie de l'AFCE, France : 1983.- p7-37.-
19. KNEZEK et Al.- *Exploring a new vision of agriculture.* In : *National forum.* Vol.68(3) : 10-13.-
20. LAATIRI, L.- *Analyse statistique des caractéristiques agro-climatiques à la station de Beja.* - Institut
national météorologique de Tunisie : 1990.-12p.-
21. LEATHERS, H D.- Best management practices versus socially optimal practices.- *Commodity and resources
policies in agricultural systems* : Just.R.E & Bockstael N (Editors). Springer Verlag. Berlin.
22. LYMAN, J K ; HERDT, R W.- *Sense and sustainability* : sustainability as an objective in international
agricultural research.- Paper prepared for CIP-Rockefeller Foundation Conference on Farmers and food
systems, Lima Peru : 26-30 September 1988.- (mimeo).
23. OCDE.- *Instruments économiques pour la gestion de l'environnement protection.*- Paris:OCDE, 1989, 150p.-
24. POMEROL, JC; ROMERO, SB.- *Choix multicritère dans l'entreprise* : principe et pratique.- Paris :
HERMES, 1993.- (Collection informatique).
25. PUTMAN, J; DYKE, P.- *The erosion productivity impact calculator as formules for the resource
conservation act appraisal.* Texas, US Department of Agricultural, Natural Resource Economic Division: ERS,
1987.-
26. RAINELLI, P.- *Economie et environnement.* - Courants. n° 3, 1990.-
27. RODALE, R.- *Agricultural systems: the importance of sustainability.*- In: National Forum Vol.68(3) : 2-6.-
28. ROMERO, C ; REHMAN, T.- *Multiple criteria analysis for agricultural decisions.*- Amsterdam : Elsevier,
1989.- 257p.- (Developments in Agricultural Economics).
29. ROY, B.- *Des critères multiples en recherche opérationnelle* : pourquoi ? Cahier du LAMSADE n°80,
Université de Paris-Dauphine 1987b.-
30. SIMOS, J.- *Evaluer l'impact sur l'environnement* : une approche originale par l'analyse multicritère et la
négociation.- Lausanne : Thèse doctorat, 1989.- 261p.- (Collection META).
31. STOEVENER, U ; SHULSTAD, R.- *Externalities relating to environment and natural resources.*- HEADY,
E,O ; WITING,L, R (EDITORS), *Externalities in the Transformation of Agriculture*, Distribution of Benefits and
Cost from Development.- (Iowa State University Press).-
32. TIETENBERG, T.- *Environmental and resource economics. 2nd Edition.* - Boston Scott : Foresman and
Compagny, 1988.- 560p.-
33. VICIEN, C.- *Les modèles de simulation comme outil pour la construction de fonction de production* : une
application à la mesure de l'efficacité de la production agricole. Montpellier.- Institut Agronomique
Méditerranéen de Montpellier, 1989.- 133p.- (Collection thèses et masters).
34. WILLIAMS, J ; JONES, C A ; DYKE, P.- *EPIC : Erosion - productivity impact calculator.*(Draft) - Temple
: USDA, Agricultural Research Service, in Cooperation with Texas A&M University, 1988.-
35. ZEKRI, S.- *Analyse comparative d'instrument de lutte contre la pollution.* - Saragosse : IAMZ, 1993.-
Tunis 2 et 3 Décembre 1993.- (Séminaire sur : L'agriculture, durabilité et environnement).
36. ZEKRI, S ; DRIDI, N ; LARA, P.- *Intégration de l'élevage dans les petites exploitation irriguées* : une
approche multicritère en deux étapes.- MEDIT, 1994.- p 36-41.-
37. ZIEGLER, Ulrich.- *Pollution des eaux par les engrais et pesticides.*- Paris : OCDE, 1986.- 159p.-

Table des matières

Introduction générale	5
I- Introduction.	5
II- Cycle de l'eau, érosion et pollution.	7
Chapitre I : Problématique	9
I- Introduction.	9
II- Objectif du travail.	9
III- Cadre d'étude.	10
1- Présentation de l'UCPA Borj Hamdouna.	10
A- Localisation.	10
B- Particularité climatique.	11
C- Particularité pédologique.	11
D- Patrimoine foncier.	11
E- Ressources en eau.	11
F- Ressources humaines.	11
G- Bâtiments d'exploitation.	11
H- Matériel agricole.	12
2- Activités agricoles.	12
A- Utilisation du sol (camp. 92/93).	12
B- Activité animale.	12
Chapitre II - Méthodologie	13
I- Approche méthodologique	13
II- La modélisation technico-économique comme outil d'analyse	13
1- Introduction	13
A- L'analyse économétrique	13
B- Modèle de programmation mathématique	14
III- Les modèles de simulation de croissance des plantes	14
IV- Programmation multiobjectif	15
1- Critiques aux paradigmes traditionnels de la prise de décision.	16
2- L'optimalité paretienne (dans le sens de Pareto).	16
3- Méthode de programmation multiobjectif [<i>multiobjectif programming</i> (M.O.P)]	17
A- Méthode N.I.S.E [No Inferior Set Estimation].	18
B- Programmation par compromis "Compromise Programming"	19
Chapitre III - Détermination des coefficients techniques	21
I- Le modèle de simulation EPIC	21
1- La construction d'un modèle de base	21
2- La validation du modèle EPIC	21
3- L'utilisation du modèle comme fonction de production	22
II- Analyse des résultats des simulations	23
1- Choix des techniques.	23
A- Critères d'ordre économique.	23
B- Critères d'ordre environnemental "Percolation, Erosion".	24
III- Les limites du modèle EPIC.	24
Chapitre IV - Variables et contraintes du modèle	27
1- Les activités productives	27
1- Les activités végétales.	27
A- Inventaire des coefficients technico-économiques.	27
2- Activités animales.	27
A- L'élevage bovin.	27
B- L'élevage ovin.	28
C- Rationnement.	28
3- Les activités de service.	29
A- Activités "Achats".	29
B- Les activités "Ventes".	29

C- Les activités "Location".	29
D- Recrutement de main-d'oeuvre.	29
II- Formulation des contraintes	29
1- Les contraintes agronomiques.	29
A- Occupation du sol.	29
B- Les rotations culturales.	30
C- Succession des cultures.	30
2- Les contraintes: facteurs de production.	30
A- L'eau.	30
B- La main-d'oeuvre.	30
C- La traction mécanique.	30
3- Contraintes relatives à l'élevage.	31
A- Besoins des animaux.	31
III- La prise en compte des atteintes à l'environnement	32
1- La percolation des nitrates.	32
2- L'érosion.	32
IV- La prise en compte du risque	32
1- Prise en compte du risque économique.	32
2- Prise en compte du risque environnemental.	33
Chapitre V - Analyse des résultats	35
I- Analyse du conflit entre la marge directe et la percolation des nitrates	36
1- Cas où $W_1 = W_2 = 1$.	37
2- Cas où $W_1 = 2$ $W_2 = 1$.	38
II- Analyse du conflit entre la marge directe et l'érosion.	39
1- Cas où $W_1 = W_2 = 1$.	41
2- Cas où $W_1 = 2$ $W_2 = 1$.	41
III- Prise en compte des 3 objectifs à la fois.	43
IV- Prise en compte du risque environnemental.	45
1- Analyse du conflit entre marge directe et la percolation des nitrates en incluant le risque environnemental	45
2- Analyse du conflit entre marge directe et érosion en considérant le risque environnemental de pollution	49
Chapitre VI - Analyse de sensibilité	53
I- La persuasion morale	53
II- L'établissement des normes	54
1- Les normes de performances.	54
2- Les normes de comportement.	54
3- Tentative d'utilisation des normes de comportement.	55
III- Instruments économiques	55
1- Les taxes.	56
2- Tentative d'utilisation des instruments économiques.	56
A- Sensibilité aux variations du prix de l'eau.	57
B- Sensibilité aux variations du prix de l'azote.	57
C- Sensibilité du modèle aux variations du prix du concentré.	57
D- Sensibilité du modèle aux variations des différents prix.	57
Conclusion	61
Bibliographie	79
Annexes	63
Annexe 1- Le modèle de programmation mathématique.	63
Annexe 2- Table des graphiques et des tableaux	63
Table des matières	81

CIHEAM
Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier
Série "Thèses & Masters"

Numéros parus :

- 1/ **Fernandez Canadas (Priscilla)**, 1987.- Les importations de céréales pour l'alimentation animale en Espagne : l'impact de l'entrée dans la CEE.- 135 p.
- 2/ **Koutsou (Stavriani)**, 1988.- Impact de l'émigration sur les systèmes agraires et le marché foncier (Etude comparative de deux villages de la Thrace du Nord-Est de la Grèce).- 102 p. + ann.
- 3/ **Bokias (Efthimios)**, 1988.- Le marché des oléagineux en Grèce : enjeux et perspectives.- 89 p. + ann.
- 4/ **Brum (Argemiro Luis)**, 1988.- L'évolution et les tendances du marché du soja. Le rôle de la CEE.- 189 p. + ann.
- 5/ **Deybe (Daniel)**, 1989.- Politiques agricoles et érosion des sols en Argentine : une méthodologie pour leur analyse.- 95 p.
- 6/ **Vicien (Carmen)**, 1989.- Les modèles de simulation comme outil pour la construction de fonctions de production : une application à la mesure de l'efficacité de la production agricole.- 133 p.
- 7/ **Brunschwig (Gilles)**, 1990.- Systèmes d'élevage extensif d'altitude dans les Andes Centrales du Pérou.- 368 p. (200 FF)
- 8/ **Bravo (Gonzalo)**, 1990.- Méthodes d'appréhension de la diversité d'exploitations agricoles (propositions pour un renouvellement de la démarche suivie à l'INTA, Argentine).- 96 p.
- 9/ **Dorado (Guillermo)**, 1990.- Fonctionnement technico-économique et gestion de l'exploitation agricole dans une perspective de développement (propositions théoriques et méthodologiques pour la région pampéenne de l'Argentine).- 82 p. + ann.
- 10/ **Segre (Andrea)**, 1990.- Dynamique de la consommation et du système agro-alimentaire italien.- 207 p.
- 11/ **Malorgio (Giulio)**, 1990.- Etude comparée des résultats technico-économiques de la production spécialisée de viande bovine dans deux zones difficiles française et italienne.- 112 p.
- 12/ **Ait-Alhayane (Khadija)**, 1990.- Les représentations du désert et de la désertification en Afrique du Nord.- 87 p.
- 13/ **Soulé (Bio Goura)**, 1992.- Echanges frontaliers de produits agro-pastoraux et dynamisme du monde rural en pays Gourma (Burkina-Faso - Ghana - Togo).- 113 p.
- 14/ **Perucca (Clorinda)**, 1992.- Diagnostic paysager des systèmes de production paysans de la province de Misiones-Argentine.- 133 p.
- 15/ **Farolfi (Stefano)**, 1992.- Dynamique de la disponibilité et de la consommation alimentaire dans les pays de l'Europe de l'Est : le cas de la Pologne.- 170 p.
- 16/ **Ladjili (Khaled)**, 1992.- Hydraulique paysanne - hydraulique étatique : économie de l'agriculture irriguée au Cap-Bon (Tunisie).- 252 p.
- 17/ **Blaskovic (Hana)**, 1992.- Une analyse du système de production agricole socialisé dans la région continentale de la Croatie et les possibilités de réorganisation : tentative d'utilisation des modèles.- 130 p.
- 18/ **Luzietoso (Nguala)**, 1992.- Les enjeux du développement agricole au Zaïre : modernisation et transformation des sociétés lignagères dans la vallée de l'Inkisi.- 89 p.
- 19/ **Hacherouf (Adelmadjid)**, 1993.- Evolution historique et comparative de la consommation alimentaire dans les pays du Maghreb Central. Algérie - Maroc - Tunisie.- 135 p.
- 20/ **Temri (Leïla)**, 1993.- Analyse concurrentielle d'un secteur aquacole.- 92 p.
- 21/ **Maronicolaki (Maria)**, 1993.- Facteurs déterminants des performances des industries agro-alimentaires grecques en matière d'exportation.- 131 p.
- 22/ **Arfa (Lamia)**, 1994.- Les exportations agro-alimentaires tunisiennes vers le marché de la CEE: évolution, compétitivité et perspectives.- 112 p.
- 23/ **Martinez Santamarta (Alvaro)**, 1994.- Les innovations dans la filière huile d'olive en Espagne.- 100 p.
- 24/ **Afouda (Alix)**, 1994.- Politiques nationales et échanges frontaliers de produits agro-alimentaires entre le Nord Nigéria et le Nord Cameroun : exemple de l'espace Garoua-Gambaru.- 108 p.
- 25/ **Trimouille (Anne)**, 1994.- Les couples produit/territoire et le management de la qualité : application aux entreprises du secteur fruits et légumes frais.- 99 p.
- 26/ **Amine Khodja (Abdelhafid)**, 1995.- Les déterminants de la dépendance en orge de l'élevage ovin steppique : le cas de la région de M'sila en Algérie.- 110 p.
- 27/ **Sampaio (Maria Lucia da Cunha)**, 1995.- Le développement des filières traditionnelles et régionales de production agricole en zones méditerranéennes défavorisées : le cas de la filière des fromages régionaux de la Beira Baixa (Portugal) .- 101 p.

- 28/ **Preda (Stefano)**, 1995.- Budgets agricoles et politiques socio-structurelles : évolution des dépenses en agriculture dans la région Emilie-Romagne et analyse comparée avec la Catalogne (1980-1992) .- 219 p.
- 29/ **Tlili (Mohamed)**, 1995.- Essai de simulation d'impact des nouvelles mesures économiques (PASA 2) sur le secteur céréalier en Tunisie. Etude de cas : Behaya .- 108 p.
- 30/ **Bode (Ridvan)**, 1995.- L'économie paysanne albanaise et la transition vers l'économie de marché (Réflexions sur la région de Dévolle).- 95 p.
- 31/ **Antonelli (Annarita)**, 1995.- Environnement et commerce international : enjeux de l'approche économique des procédés et méthodes de production .- 79 p.
- 32/ **Blanco Fonseca (Maria)**, 1996.- Analyse des impacts socio-économiques et des effets sur l'environnement des politiques agricoles : modélisation de l'utilisation agricole des ressources en eau dans la région espagnole de Castille-León.- 132 p.
- 33/ **Chemingui (Mohamed Abdelbasset)**, 1996 .- Contribution à l'étude de l'avantage comparatif et de la position concurrentielle des agrumes tunisiens sur le marché communautaire : cas de l'orange maltaise .- 160 p.
- 34/ **Bengaraa (Abdelaziz)**, 1996 .- Organisation et dynamique industrielles des filières de production animale au Maroc .- 86 p.
- 35/ **Frenn (Georges)**, 1996 .- Le secteur des boissons au Liban : dynamique des marchés et analyse concurrentielle de l'industrie .- 80 p.
- 36/ **Bossuet (Luc)**, 1996 .- Transformation des territoires ruraux, d'une gestion corporatiste aux multi-usages : le cas de l'Aveyron. - 96 p.
- 37/ **Rodriguez Gomez (Fernando)** .- Développement durable ? Le problème de la dissociation entre les plans de conservation et les plans de développement. Le cas de la petite région de la Garrotxa (Catalogne) - 121 p.
- 38/ **Mimouni (Monder)** .- Utilisation de l'approche multicritère pour une analyse intégrée des problèmes économiques et environnementaux . Cas de l'UCPA Borj Hamdouna en Tunisie - 85 p.

Numéros à commander au :

CIHEAM-IAMM
Bureau des Publications -
3191, route de Mende - BP 5056
34033 Montpellier Cedex 1 (France)

Tél. : 04 67 04 60 00 - Fax : 04 67 54 25 27

prix : 75FF (le numéro), sauf mention contraire

Le Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes

Créé en 1962 sous l'égide du Conseil de l'Europe et de l'OCDE, le CIHEAM est une organisation inter-gouvernementale rassemblant quatorze pays méditerranéens : Albanie, Algérie, Egypte, Espagne, France, Grèce, Italie, Liban, Malte, Maroc, Portugal, Tunisie, Turquie et ex-Yougoslavie. La FAO et la Commission Européenne participent également comme observateurs au conseil d'administration du Centre.

Quatre instituts (Bari, Chania, Montpellier et Zaragoza) dispensent des enseignements post-universitaires de niveau Master of Science. Le CIHEAM anime des réseaux de recherche en Méditerranée, favorise l'organisation d'enseignements spécialisés dans les pays membres, tient des séminaires et colloques rassemblant des techniciens et scientifiques spécialistes des questions agricoles de la région, publie des ouvrages sous le titre « *Options méditerranéennes* ».

Au travers de ses activités, le Centre favorise le dialogue Nord/Sud et la coopération internationale dans la zone, pour le développement de l'agriculture dans la région méditerranéenne.

The International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies

Established in 1962 under the auspices of the Council of Europe and the OECD, CIHEAM is an intergovernmental organization of fourteen countries: Albania, Algeria, Egypt, France, Greece, Italy, Lebanon, Malta, Morocco, Portugal, Spain, Tunisia, Türkiye and ex-Yougoslavia. The FAO and the European Commission participate on CIHEAM's Board of Directors as observers.

Four institutes (Bari, Chania, Montpellier and Zaragoza) provide post-graduate education at the Master of Science level. CIHEAM animates Mediterranean research networks, promotes the organization of specialized education cycles in member countries, holds seminars and workshops bringing together technicians and scientists specialized in Mediterranean agriculture, and publishes works in the series "Options Méditerranéennes".

Through these activities, CIHEAM promotes North/South dialogue and international cooperation for agricultural development in the Mediterranean region.

