CIHEAM

International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies

Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes

Thèse / *Thesis*

requise pour l'obtention du titre

submitted for the degree of

Master of Science

Utilisation d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales :
cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Application à la ferme Sawaf

Kamel LOUHICHI

collection "Master of Science" n°39
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

Utilisation d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales :

cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie

– Application à la ferme Sawaf –

Kamel LOUHICHI

Collection "Master of Science" n° 39

1997

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

LOUHICHI (Kamel) - Utilisation d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales : cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Application à la ferme Sawaf. - Montpellier : CIHEAM/IAMM, 1997 - 130 p - (Thèse Master of Science, IAMM, 1997, Collection *Thèses et Masters*, n°39)

Utilisation d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales : cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Application à la ferme Sawaf

LOUHICHI Kamel

Résumé : Devant la gravité de l'érosion et l'importance des dépenses publiques en matière de conservation des eaux et du sol, l'auteur s'interroge sur l'efficacité de l'intervention publique et fait l'évaluation globale de l'impact de ces aménagements de conservation des eaux et du sol sur le rendement, le système de production, la rentabilité des capitaux investis et sur l'érosion. C'est la démarche bio-économique, couplant l'emploi d'un simulateur agronomique de croissance des plantes à un modèle d'optimisation économique, qui semble la meilleure pour juger cette efficacité.

Mots-clefs : Tunisie ; Ressources naturelles ; Erosion ; Environnement ; Intervention de l'Etat ; Modèle bio-économique ; Programmation linéaire ; Evaluation.

Use of a bio-economic model for the analysis of the impact of agri-environmental policies: the case of water and soil conservation in Tunisia

***Abstract**: Because of the seriousness of erosion and the importance of public expenditures for water and soil conservation, the author studies the efficiency of public intervention and makes a global appraisal of the impact of conservation on yield, the farming system, the profitability of invested capitals and erosion. The bio-economic approach combining the use of an agronomic simulation model of plants growth and an economic optimisation model seems to be the most suitable.*

***Keywords**: Tunisia; Natural resources; Erosion; Environment; State intervention; Bio-economic model; Linear programming; Appraisal.*

ISBN : 2-85352-166-4
Prix : 75 F

Série Thèses et Masters

Ce Master est le 39e 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 d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales : cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Application à la ferme Sawaf.

a été soutenue par **Kamel LOUHICHI** en janvier 1997 devant le jury suivant :

M. J.M. BOUSSARD	Directeur de recherche, INRA Paris,	Président
M. S. ZEKRI	Enseignant - chercheur, ESAM, Tunisie,	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.

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 1

Première partie : conservation des eaux et du sol en Tunisie : problématique et méthodologie

Chapitre 1 : Problématique de la C.E.S. en Tunisie 7

Section 1 : Les éléments du constat 7
I - L'environnement tunisien: un espace risqué 7
II - Politique tunisienne de conservation des ressources naturelles 9
III - C.E.S.: une intégration des politiques agricoles et environnementales 14
IV - C.E.S.: pour un développement durable 15
V - C.E.S. et équité intergénérationnelle 16
VI - Evolution des dépenses en matière de C.E.S. 16

Section 2 : Les éléments de la problématique 17
I - Formulation de la problématique 17
II - Hypothèses explicatives 18

Chapitre 2 : Cadre théorique et approche méthodologique 19

Section 1 : Cadre théorique 20
I - L'Etat dans la nouvelle économie publique 20
II - Les ressources naturelles: concepts, fondements et théories 22

Section 2 : Approche méthodologique 29
I - Choix de la méthode 29
II - La modélisation bio-économique comme outil d'analyse 32

Deuxième partie : application du modèle bio-économique

Chapitre 3 : Caractérisation du domaine d'étude 45

Section 1 : Cadre d'étude 45
I - Introduction 45
II - Monographie de la ferme 45
III - Situation technico-économique: analyse et diagnostic 46
IV - Conclusion 50

Section 2 : Les composantes du projet C.E.S. 51
I - Introduction 51
II - Objectif et conception du projet 51
III - Les composantes du projet 52
IV - Conclusion 54

Chapitre 4 : Le modèle bio-économique 55

Section 1 : Détermination des coefficients techniques 55
I - Le modèle de simulation EPIC 55
II - Analyse des résultats des simulations 56

Section 2 : Les variables et les contraintes endogènes du modèle économique 60
I - Les activités productives 60
II - Formulation de la fonction objective et prise en compte du risque 61
III - Formulation des contraintes de multipériodicité 64
IV - Formulation des contraintes de recursivité 70
V - Conclusion 71

Chapitre 5 : Analyse des résultats 73

Section 1 : Les résultats du modèle de base 73
I - Introduction 73
II - Spécificité du modèle 73
III - Validation du modèle 74
IV - Présentation des résultats du modèle 75
V - Evaluation financière du projet 77
VI - Conclusion 85

Section 2 : Les résultats du modèle multicritère 86
I - L'approche multicritère 86
II - Application de l'approche multicritère 86
III - Analyse des résultats obtenus par l'approche multicritère 89

Conclusion générale 93
Annexes 95
Bibliographie 119
Table des matières 125

Introduction générale

Partout dans le monde, les questions environnementales sont devenues une préoccupation majeure affichée par de multiples agents dans leurs comportements sociaux, politiques, et de plus en plus économiques, et ce afin de conserver ou de restituer une meilleure condition de vie pour les populations, et d'assurer un développement économique et social durable.

En effet, les dégradations environnementales occasionnées par l'urbanisation, l'industrialisation, l'agriculture, les activités croissantes de transport, créent des limitations dans l'utilisation des ressources de l'environnement, susceptibles de freiner, voire de bloquer le rythme de développement.

Ces problèmes se sont posés dans tous les pays avec plus ou moins d'acuité selon le niveau de développement. Donc, les affronter n'est pas seulement un luxe des pays riches. Dans les pays pauvres, de telles mesures permettraient d'éviter deux millions de décès chaque année, avec un minimum d'assainissement de l'eau. Elle s'avère aussi source de croissance économique à travers une meilleure exploitation des terres agricoles et des ressources naturelles **(Kenigswald L., 1992)**.

Donc, préserver l'environnement, sauvegarder les terres et conserver l'eau sont des actions fort importantes dans toute nation pour garantir un développement durable avec des populations saines **(Mughal A.D., 1992)**, non seulement pour des raisons d'éthique intergénérationnelle, mais aussi pour des raisons économiques. En effet, une préservation de ce potentiel de croissance accompagné d'un développement économique permet d'atteindre un développement capable d'évoluer indéfiniment vers une plus grande utilité pour l'homme, vers une meilleure efficacité de l'emploi des ressources et vers un équilibre avec le milieu qui soit bénéfique à la fois pour l'homme et pour la plupart des autres espèces **(Harwood, 1990).**

Dans le secteur de l'agriculture, cette durabilité est assurée essentiellement par une utilisation efficace des ressources ainsi que par une distribution équitable des actifs aussi bien intragénérationnelle qu'intergénérationnelle. Il s'agit essentiellement de conserver les terres et les eaux et d'utiliser des moyens sans danger pour l'environnement, techniquement bien adaptés, économiquement viables et socialement acceptables **(FAO, 1990).**

Cependant, cette convergence et cette préoccupation universelle pour la protection de l'environnement et des ressources naturelles en vue de les rendre plus durables et mieux vivables, sont suivies généralement d'une divergence au sujet du prix à payer pour réaliser cette protection. En effet, protéger l'environnement peut se traduire, du moins à court ou/et à moyen termes, par un ralentissement de la croissance économique **(Bachta M.S., 1992).** Il est donc important d'estimer le coût en terme de croissance de tout programme de protection de l'environnement et inversement, le coût en terme de dégradation environnementale de toute croissance économique.

Dans le cas de la Tunisie, étant donné la priorité qu'il accorde au secteur agricole dans sa politique de développement économique et social, l'Etat tunisien ne cesse de déployer des efforts considérables pour protéger, mobiliser et conserver ces deux ressources (eau et sol) afin d'assurer la durabilité de son agriculture. Les dépenses engagées dans ce domaine de conservation des eaux et du sol (C.E.S.), sont devenues au fil des années, de plus en plus élevées atteignant des niveaux sans précédent. Les interprétations concernant les résultats obtenus sont divergentes pour ne pas dire contradictoires. Ainsi, ils sont jugés peu tangibles pour certains et acceptables pour d'autres, laissant le champ libre à une réflexion et une analyse économique afin d'élucider ces paradoxes apparents.

En effet, le secteur agricole joue un rôle de premier ordre dans le développement économique et social de la Tunisie et se porte garant de la sécurité alimentaire du pays.

Au cours du VII^{ème} plan, sa contribution à la croissance économique a atteint près de 16% du PIB et 12% des exportations globales en drainant près de 17% du montant alloué aux investissements nationaux pendant cette période[1] .

Sur le plan social, c'est également un secteur primordial puisqu'il emploie plus du quart de la population active (26%). En outre, il constitue une source de revenu pour près de la moitié de la population, en plus du rôle qu'il joue en matière de lutte contre l'exode rural.

Cependant, le développement de ce secteur est tributaire de la mise en valeur des deux principales ressources naturelles de production: l'eau, dont il s'agira de poursuivre la mobilisation et de rationaliser son utilisation et le sol, support de tout couvert végétal et forestier qu'on essayera de conserver.

Diverses études pédologiques et géomorphologiques ont montré que les sols tunisiens sont particulièrement vulnérables à l'érosion. Cette vulnérabilité est due au concours de divers facteurs naturels (climat, relief) et anthropiques (dégradation du couvert végétal, mauvaises pratiques culturales, surexploitation des pâturages et des forêts, etc.).

Cependant, si l'érosion n'est pas un phénomène nouveau en Tunisie, elle revêt d'année en année une intensité plus inquiétante. Ceci est dû essentiellement aux transformations socio-économiques survenues dans le milieu rural qui, en soixante-dix-ans, a subi des bouleversements considérables.

Ce phénomène constitue l'une des formes principales de dégradation des sols, par l'affectation de leurs propriétés physico-chimiques et leurs structures et par conséquent leur productivité.

Devant la gravité du problème et dans le souci de limiter encore davantage la dégradation des ressources, l'Etat tunisien, agent économique, s'est engagé depuis l'indépendance dans une politique de maîtrise des eaux de surfaces et de sauvegarde des terres en pente. Cette politique, d'ordre économique et environnementale, vise essentiellement un double objectif. Le premier, conforme à la fonction étatique d'allocation optimale des ressources rares, cherchant la reconstitution de la fertilité, l'amélioration de la productivité et la maîtrise correcte des ressources agricoles. Le second, inscrit dans le principe d'équité, buttant essentiellement sur l'instauration d'une politique de développement local durable et d'équilibre régional.

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

Les réalisations prévues par la nouvelle stratégie (1990-2000) de cette politique se manifestent essentiellement par:
* L'aménagement de 600.000 ha par les techniques classiques de C.E.S.;
* L'aménagement de 400.000 ha de terres à vocation céréalière par les techniques douces;
* La construction de 1.000 lacs colinéaires;
* La sauvegarde d'un million d'ha des travaux déjà réalisés.

[1] ***Ministère de l'Agriculture, VIII^{ème} Plan*** *du Développement Economique et Social (1992-1996), Développement Agricole et Sécurité Alimentaire, Août 1992.*

Les dépenses inhérentes à ces réalisations sont estimées, aux prix de 1990, à 557 millions de dinars soit une augmentation de l'ordre de 216% par rapport à celle de la dernière stratégie qui est de l'ordre de 175,8 millions de dinars, aux prix de 1990 [2] .

Par conséquent, l'évolution spectaculaire de ces dépenses ouvre la voie à une série de questions, faisant l'objet de notre problématique, qui pourraient être posées ainsi:

Ces aménagements réalisés qui ont bénéficié des investissements considérables sont-ils capables de rémunérer et de rentabiliser le capital investi ? Sont-ils en mesure de répondre à ces trois objectifs primordiaux à savoir: l'amélioration de la productivité, la protection des terres et la reconstitution de la fertilité?

Quels sont leurs degrés d'efficacité notamment sur les rendements et sur les pertes du sol?

Quels sont leurs impacts sur les systèmes de production et sur la vie économique et environnementale de l'exploitation?

A cet égard, le principal objectif de ce travail original en soi, du moins dans le contexte tunisien, est d'évaluer quantitativement l'impact de ces aménagements sur le rendement, le système de production pour la partie économique et sur l'érosion en ce qui concerne l'environnement.

Le support méthodologique procédé s'appuie sur l'utilisation d'un modèle bio-économique qui couple l'emploi d'un simulateur agronomique de croissance des plantes à un modèle d'optimisation économique. Ce modèle permet, en intégrant les données sur le domaine d'étude, de parvenir à quantifier les "*trades-offs*" entre la rentabilité économique et l'efficacité environnementale de cette intervention publique. Cette approche a également l'avantage, avec la modélisation, de donner une dimension quantitative aux considérations du type qualitatif effectuées dans d'autres types d'analyse. **(Deybe D., 1994)**

La construction de cette démarche méthodologique s'appuie sur l'articulation de raisonnements issus de concepts empruntés à l'Economie Publique, l'Economie des Ressources Naturelles et d'éléments de nature micro-économique de la théorie néoclassique.

En outre, afin de donner une interprétation économique à notre étude, nous avons essayé de définir l'échelle du travail. Nous avons choisi l'approche micro-économique et plus particulièrement le modèle individuel, étant donné que les décisions de production sont prises au sein de l'exploitation et c'est à ce niveau que se situe le modèle initial. Tout cela, en sachant bien que l'extrapolation n'est possible que par la multiplication des études de cas.

Ainsi, ce travail se développe en deux parties. Dans le premier chapitre de la première partie, nous montrerons l'importance de l'intervention de l'Etat dans le domaine de C.E.S. du fait des programmes et des stratégies mis en oeuvre et des sommes importantes investies. Mais notre attention se porte aussi sur l'histoire de ces aménagements, constituant un élément essentiel pour comprendre, d'une part, les enjeux principaux de cette intervention publique et d'autre part pour formuler la problématique de ce travail. Dans un deuxième chapitre, nous exposerons le cadre théorique de la recherche ainsi que la méthode et les outils pratiqués pour traiter notre problématique.

La deuxième partie est consacrée à l'application du modèle bio-économique pour répondre à nos questions de départ. Elle débutera par la caractérisation du domaine d'étude et les raisons de son choix (chapitre 3). Puis, nous continuerons par une représentation détaillée de notre modèle, en commençant

[2] ***Ministère de l'Agriculture, VIII^{ème} Plan*** *du Développement Economique et Social (1992-1996), Développement Agricole et Sécurité Alimentaire, Août 1992.*

par la détermination des coefficients techniques du modèle EPIC et en clôturant par une description des variables et des contraintes endogènes du modèle économique (chapitre 4).

Le dernier chapitre de la deuxième partie (chapitre 5) sera consacré à l'analyse des différents résultats des modèles élaborés afin d'essayer de répondre à l'ensemble des questions formulées. Dans une première section et par le biais d'un modèle de base avec une fonction objectif de genre néoclassique, nous essayerons de simuler l'évolution du système de production et du revenu sur une période de dix ans, des éléments indispensables pour quantifier la rentabilité de ce projet de conservation des eaux et du sol. Dans une deuxième section et par l'intermédiaire d'un modèle multicritère avec une fonction objectif à double critères, nous déterminerons les systèmes de production adéquates permettant de trouer un *"trade off"* au conflit persistant entre les objectifs économiques et environnementaux.

Première partie

Conservation des eaux et du sol en Tunisie: problématique et méthodologie

Premier chapitre
Problématique de la conservation des eaux et du sol en Tunisie

Section I : Les éléments du constat

I/ L'environnement tunisien : un espace risqué

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

En effet, la pratique agricole notamment l'utilisation des eaux, des engrais et des pesticides, en combinaison avec l'agressivité du climat, le relief caractérisé par des pentes fortes, la nature du sol, contribuent à une dégradation des ressources du pays. Cette dégradation est marquée essentiellement par deux phénomènes majeurs : la rareté de l'eau et l'agression du sol.

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

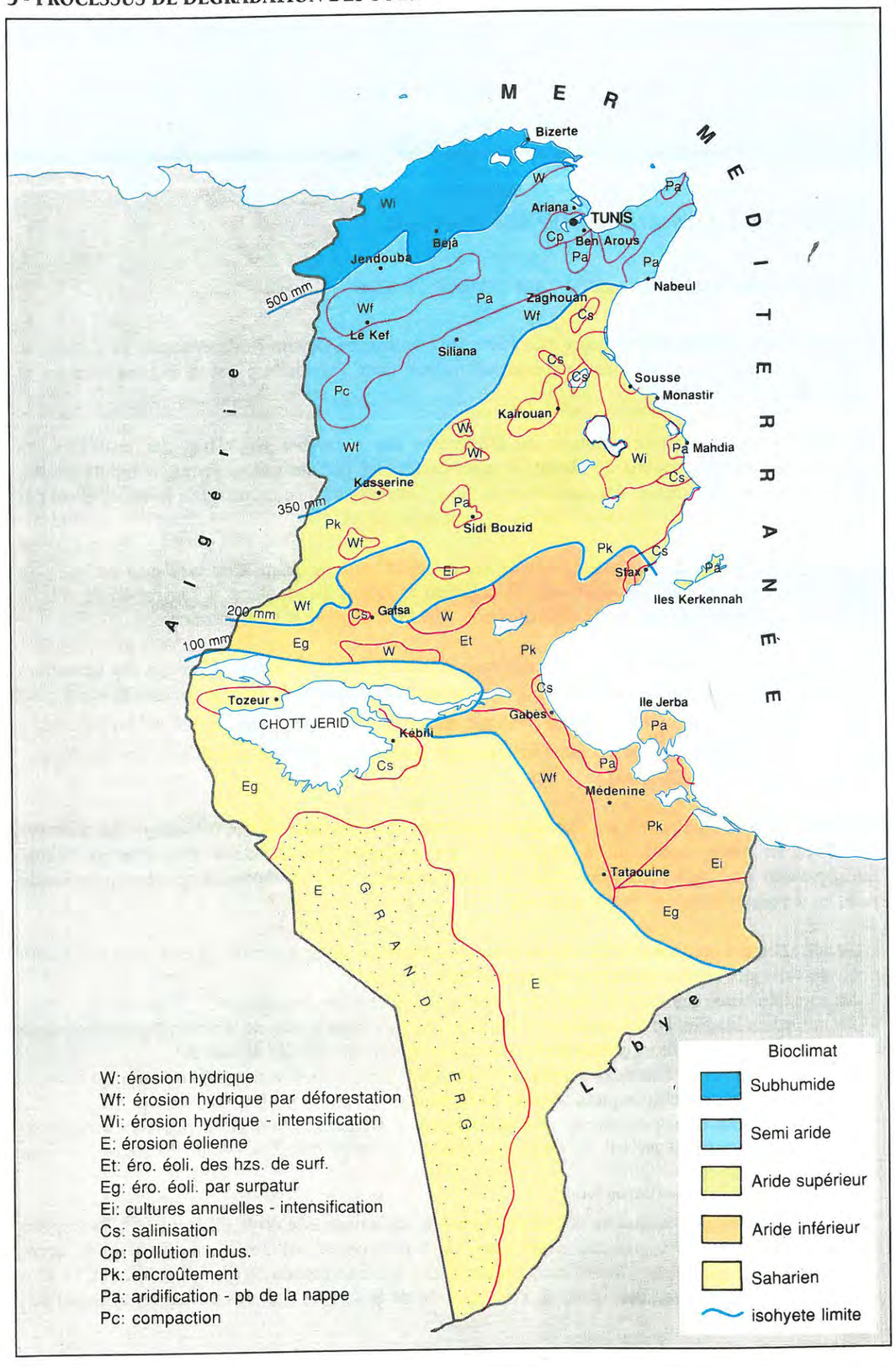
En effet, malgré les efforts considérables déployés depuis 40 années dans la mobilisation des ressources hydriques du pays, la Tunisie connaîtra, à court terme, une situation de pénurie en eau. Il suffit pour s'en convaincre de comparer le potentiel hydrique utilisable, qui est de l'ordre de 500 m^3/an/habitant, à la valeur de 1000 m^3 considérée comme un minimum annuel indispensable à la satisfaction des besoins de chaque individu **(FAO, 1993).**

S'ajoute à cela le risque permanent d'un appauvrissement du patrimoine sol très menacé par l'érosion sur les terres en pente, consécutif à l'agressivité des précipitations orageuses fréquentes en climat méditerranéen ainsi qu'à l'évolution rapide de l'environnement socio-économique qu'a connu le monde rural les dernières décennies, et qui a entraîné:

- Un défrichement considérable de certaines zones marginales et de parcours, et leur mise en culture pour répondre aux besoins d'une population sans cesse croissante;
- Une surexploitation des terres de parcours restantes entraînant leur fragilisation;
- Une utilisation inadéquate des pratiques culturales (labours dans le sens de la pente, dégradation de la structure du sol, etc...) liée en grande partie à la mécanisation des activités agricoles;
- Une multiplication du phénomène d'exode rural qui, en favorisant le départ des ruraux vers les villes, a exposé les terres, jadis cultivées, aux caprices de l'érosion;
- Une absence totale d'une politique de suivi et d'entretien des efforts fournis par la première stratégie de conservation des eaux et du sol. Résultat : les réalisations accomplies, à défaut d'entretien, se sont dégradées au fil des ans.

Cependant, si l'érosion n'est pas un phénomène nouveau en Tunisie, elle revêt, d'une année à l'autre, une intensité de plus en plus inquiétante. Actuellement, elle menace plus de 3 millions d'hectares de terres dont la moitié est gravement touchée, ce qui nécessiterait une intervention rapide (cf.: tableau n°1). Elle est également responsable, d'une part, de la diminution de la fertilité des terres et des rendements des

3 - PROCESSUS DE DEGRADATION DES SOLS



cultures, et d'autre part, de la pollution de l'environnement, en raison de la pollution des eaux par les sédiments, et celle de l'air par les poussières éparpillées chaque année.[1]

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

Tableau n°1 : Répartition des terres affectées par l'érosion dans le Nord-Centre de la Tunisie (en %)

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

Source: Rapport de la D/CES (1991).

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

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

II/ Politique tunisienne de conservation des ressources naturelles

Conscient de la fragilité de son environnement et de l'altération continue de son potentiel de ressources renouvelables, l'Etat tunisien, agent économique, a très tôt relevé le défi et s'est engagé depuis les années soixante dans une politique de maîtrise des eaux de surface et de sauvegarde des terres en pente.

Cette politique publique, émergeant d'une intégration des politiques agricoles et environnementales, vise essentiellement la protection des terres, l'amélioration de la productivité, la reconstitution de la fertilité, la maîtrise correcte des ressources agricoles et le maintien de l'équilibre régional afin de satisfaire les besoins humains au fur et à mesure qu'ils évoluent. Elle cherche à remplir les trois fonctions de l'Etat, à savoir l'allocation optimale des ressources rares, la distribution des patrimoines et la stabilisation des conjonctures. Des fonctions que le mécanisme du marché ne serait sûrement pas en mesure de remplir.

Cependant, l'émergence contemporaine de cette politique publique n'est pas due au hasard. Elle s'inscrit dans un processus d'évolution historique de longue durée qui date depuis à peu près un siècle. En effet, de nombreuses stratégies successives et complémentaires se sont succédées au fil des années buttant essentiellement sur un objectif unique, à savoir la maîtrise de l'espace par la mise en oeuvre de diverses formes d'interventions.

A cet égard, avant de nous préoccuper de cette politique, de ses moyens, ses actions, ses bénéficiaires et ses objectifs, il apparaît utile de recourir à l'histoire afin de rechercher les fondements de ce type de politique ainsi que leur évolution au fil des années.

---

[1] ***Ministère de l'Agriculture, VIII^{ème} Plan*** *du Développement Economique et Social (1992-1996), Développement Agricole et Sécurité Alimentaire, Août 1992.*

1/ Historique des pratiques en matière de conservation des eaux et du sol

Un grand nombre d'indices et de récits historiques ont tendance à montrer que les sociétés humaines de la Tunisie ont rarement été indifférentes à l'érosion. Elles ont, en effet, toujours oeuvré contre ce fléau. Ceci est particulièrement attesté par les travaux de lutte contre l'érosion et les techniques de mobilisation des eaux de ruissellement qui ont été développées et pratiquées. Leur sagacité a permis de concevoir une gamme importante de techniques empiriques dont l'efficacité continue d'étonner plus d'un technicien contemporain.

Ces techniques, même les plus rudimentaires, trouvent leur efficacité dans le fait qu'elles sont un produit attaché à la fois à un contexte socio-économique et environnemental. Pour être reproductible, ces techniques de conservation des eaux et du sol ont été en parfaite symbiose avec les types d'organisation sociale. De ce fait, il parait important de parcourir l'histoire afin de montrer la dynamique des formations sociales et des civilisations qui se sont succédées sur le territoire tunisien dans la mobilisation des eaux et la préservation du milieu.

A/ C.E.S. avant l'indépendance : une stratégie paysanne

** Période pré-romaine*

Cette période constitue le point de départ des premières techniques de C.E.S. En effet, avec le départ des Psylles et des Garamantes (ancienne population tunisienne), les Berbères et les Phéniciens vont inventer les premières pratiques de C.E.S. Ces pratiques qui sont reproduites jusqu'à nos jours, à savoir les *"Meskats"* sahéliens, les *"Jessours"* de Matmata, les *"Mgouds"* de Gammouda, etc., se caractérisent essentiellement par une forte adaptation aux différentes situations climatiques et hydrogéologiques.**(Hamza A., 1988).**

** Période romaine*

Valorisant le savoir faire antérieur sur les techniques de CES, les Romains ont eu le mérite de sauvegarder l'existant et de l'enrichir par une gamme assez diversifiée de nouvelles techniques encore mieux adaptées au milieu.

A.Hamza (1988) écrit que "à l'époque romaine, la conservation des eaux et des sols était une opération spontanée faisant que chaque paysan se sent responsable de l'état de son lopin de terre . On devrait s'entraider mutuellement mais jamais compter sur le pouvoir central qui avait d'autres préoccupations.." Par conséquent, les opérations de protection romaine ont toujours été caractérisées par la logique des groupes sociaux. Cette logique était basée sur des modes de production qui n'étaient pas défavorables au milieu naturel. La population, peu dense, s'organisait de façon à assurer la liaison entre les aspirations collectives et les intérêts domestiques **(Chassany J.P., 1975).**

** Période arabe*

S.Elamami écrit "la conquête des Arabes, et le retour d'Espagne des Andalous ont entraîné dans leur sillage l'introduction de nouvelles techniques d'utilisation et de maîtrise des eaux d'irrigation". Cette confirmation, corroborée par les études de **Ch. Picard** et de **A. Hamza** montre que les Arabes ont adopté les techniques antérieures, en les aménageant progressivement aux exigences et aux conditions des zones conquises et mises en valeur (steppe, oasis...). Ils ont en effet reproduit à grande échelle la technique d'épandage des eaux des crues sur de larges franges de steppes tunisiennes.
Cependant, même si de nombreux stéréotypes et préjugés négatifs subsistent encore à propos des formes d'organisations sociales arabes pré-coloniales, nous ne pouvons qu'insister sur la cohérence des logiques des entités sociales en matière de la conservation de l'eau et du sol

** Période coloniale*

Avec la colonisation, les colons se sont emparés des bonnes terres de plaine (700 000 ha). La population résidente a été refoulée vers les zones les moins bonnes et les plus érodables favorisant ainsi la rupture de nombreux équilibres.
L'irruption d'une économie de marché, de nouveaux modes de vie et de gestion des ressources naturelles s'est traduite par une accélération des phénomènes de dégradation des sols et des ouvrages traditionnels de rétention des eaux de ruissellement.
En effet, l'importation de nouveaux outils par les colons en vue d'intensifier la production ne s'est pas accompagnée d'actions de restauration, de sauvegarde des ressources naturelles, tout particulièrement de l'eau et du sol. Comme l'indique J. Poncet (1987), si l'agriculture coloniale a obtenu des résultats indéniables dans les limites d'espace et de temps restreints, elle a aussi provoqué une propagation excessive des pratiques culturales médiocres et dangereuses pour l'avenir des sols tunisiens.

B/ C.E.S. après l'indépendance : une affaire d'Etat

Avec l'indépendance, les sols vont continuer à être violemment sollicités. La pression démographique, la recherche de meilleurs revenus, l'emploi d'une mécanisation inadaptée, l'extension rapide de l'arboriculture, le surpâturage sont autant de facteurs qui ont eu un impact direct sur l'accélération des phénomènes de dégradation des ressources en eau et en sol.
A cet égard, des stratégies successives et complémentaires ont été identifiées par divers acteurs dont le principal était l'Etat. Ces stratégies, dont le but principal demeure la maîtrise de l'espace, présentent des différenciations concernant les objectifs, les moyens utilisés, la gamme d'actions à mettre en oeuvre, les bénéficiaires visés et les résultats obtenus.

Cependant, à la différence de la période coloniale, la C.E.S. après l'indépendance est devenue de plus en plus une affaire d'Etat. En effet, la multiplication d'institutions étatiques a prolongé le processus introduit par la colonisation et qui vise à déstructurer, marginaliser, voire faire disparaître les institutions sociales traditionnelles à qui revenait la tâche d'organisation, de codification et de décision dans la sauvegarde et la conservation des ressources naturelles. Ces institutions, malgré leur conscience des méfaits de la dégradation de ces ressources, ont été progressivement écartées et peu associées aux programmes de conservation. Ceux-ci étant de plus en plus conçus dans le cadre de projets élaborés, exécutés, financés par les institutions technico-économiques de l'Etat.
De l'indépendance à l'an 2000, nous allons procéder à un découpage en périodes de durée différente. A chaque période correspond une stratégie spécifique, bien que la limite entre elles reste assez floue.

a/ Stratégie de la promotion sociale: 1960-1970

Comme dans la plupart des pays sous-développés, la stratégie de développement adoptée par la Tunisie pendant les années 60 visait la construction d'un "Etat-Nation" fort et doté d'un appareil d'institutions technico-administratives capables de prendre en charge la gestion des différents équilibres macro-économiques, socio-économiques et écologiques.
En matière de conservation et de gestion des ressources naturelles, "l'Etat providence" a diversifié les programmes et les projets régionaux. Les objectifs primordiaux de ces programmes sont la lutte contre le chômage, l'amélioration des revenus, le maintien de la reproductibilité des ressources naturelles ainsi que celui de l'équilibre entre les régions.
Les bénéficiaires de ces actions ont été essentiellement les travailleurs qui tirent leurs salaires des chantiers et non les détenteurs de capital foncier. En effet, à la veille de l'indépendance , les pouvoirs centraux ont constaté que les deux tiers de la population résidant en milieu rural avait un niveau de revenus très bas. Face à cette situation défavorisée, l'idée des chantiers de CES est apparue comme une solution triviale et immédiate pour créer des revenus supplémentaires, nécessaires pour couvrir les dépenses de consommation.

Les résultats de ces programmes ont pu répondre aux objectifs primordiaux en particulier la promotion sociale par l'emploi. En effet, la satisfaction des travailleurs était presque totale, ce qui s'est manifesté par une absorption de la majorité des capacités humaines aptes à être occupées, telle que recommandée explicitement en 1964.

Cependant, l'échec de l'expérience coopérative et les modifications générales des structures économiques ont déterminé des changements au sein du secteur CES. Ainsi, les objectifs principaux deviennent l'amélioration de la productivité de la main-d'oeuvre par l'introduction accrue d'engins, la maîtrise des eaux de surface et la sauvegarde des terres en pente.

b/ Stratégie de la maîtrise du milieu physique: 1970-1990

Cette stratégie correspond aux années 70. L'Etat s'est orienté vers la recherche d'une rentabilité économique des capitaux empruntés et investis dans l'infrastructure hydraulique. Cette orientation a été basée sur les composantes suivantes:

** La mobilisation, la sauvegarde et l'utilisation rationnelle des ressources hydrauliques;*
** La conservation et la protection du milieu agricole;*
** L'amélioration de la productivité du secteur;*
** L'amélioration de l'environnement global de l'activité agricole;*

Globalement, l'objectif primordial a été une "CES pour la protection physique" des ouvrages réalisés en aval de l'unité d'aménagement. Les réalisations ont été traduites par l'aménagement d'au moins un million d'hectares jusqu' en 1989 (Rapports annuels de la D/CES, 1993). Les investissements ont atteint un montant de 19 millions de dinars, soit un accroissement, par rapport à la décennie précédente, de 332%.

Cependant, la faible ou même l'absence d'implication des agriculteurs dans l'aménagement a entraîné un décalage très important entre les réalisations et les prévisions ainsi qu'un retard remarquable dans les délais de réalisation.

A cet égard, une réflexion concernant le concept de participation est déclenchée depuis les années quatre-vingt. Elle est abordée tout d'abord du côté de l'aménagement de CES qu'on peut concevoir sous une forme diversifiée pour satisfaire les besoins des agriculteurs. Ensuite, pour des raisons de manque d'efficacité, l'Etat envisage la participation de la population aux différentes étapes de l'aménagement (approche participative).

c/ Stratégie de la participation: 1990-2000

Suite à l'adoption du programme d'ajustement structurel qui vise essentiellement le désengagement progressif de l'Etat, la compression des dépenses publiques et l'amélioration de l'efficacité des investissements, l'Etat Tunisien a donné une dimension considérable à l'initiative privée. L'enjeu principal de celui-ci se situe dans la recherche d'un allégement des dépenses publiques et d'une sensibilisation des bénéficiaires aux aménagements réalisés par le biais, d'une contribution financière des agriculteurs aux coûts d'investissement.

Ce passage d'une initiative publique à une autre privée donne naissance à un circuit triangulaire regroupant: l'Etat, les agriculteurs et les entreprises privées.
* L'Etat, représentant la collectivité, qui cherche à améliorer la valeur ajoutée des aménagements C.E.S. dans les agrégats macro-économiques et à rentabiliser les capitaux étrangers engagés dans la C.E.S. Sa tâche est réduite à l'étude, la conception et la programmation des aménagements.

* Les agriculteurs, futurs gestionnaires de l'aménagement, qui bénéficient de l'apport financier des travaux C.E.S. à l'échelle de l'exploitation agricole par une amélioration des rendements, une intensification des systèmes de production, des avantages sur les crédits à recevoir et des investissements à réaliser.
* Les entreprises privées auxquelles est confiée l'exécution des travaux difficiles à réaliser par les agriculteurs. Elles cherchent la rentabilité financière par une meilleure productivité de la main-d'oeuvre et des engins mécaniques, par la compression des coûts unitaires et la réduction des délais.

En se basant sur les compétences des éléments de ce circuit, l'Etat a entamé la décennie 1990-2000 par un programme qui privilégie deux dimensions essentielles, à savoir:

- La conservation des ressources naturelles, en luttant contre toute forme de dégradation quantitative et en promouvant les pratiques de gestion rationnelle et d'utilisation durable de ces ressources.

- La préservation de la qualité de ces ressources considérées comme élément de compétitivité économique et sociale en luttant contre toute forme de détérioration et de contamination de ces ressources.

Les objectifs primordiaux de ce programme ambitieux sont:

* L'amélioration de la fertilité des sols, l'augmentation de la productivité des terres et la réduction de la perte en terre agricole;
* L'atténuation des dégâts en aval causés par les inondations;
* Le développement du savoir-faire des agriculteurs dans l'auto-aménagement et la gestion des aménagements;
* La prolongation de la durabilité des barrages.

Pour atteindre ces objectifs, la direction générale de la C.E.S. a mis en place une politique ambitieuse et concertée qui puise ses fondements à partir des objectifs du développement durable. Cette politique, qui intéresse en priorité les zones du pays les plus menacées par la dégradation des sols, prévoit:
- l'aménagement de 400.000 ha de terres à vocation céréalière par des techniques douces de C.E.S.;
- la construction de 1000 lacs collinaires et de 400 ouvrages d'épandage des eaux de crues et de recharge des nappes;
- la sauvegarde des terres déjà effectuées sur un million d'hectares.

2/ Justification de l'intervention publique par les aménagements C.E.S.

Comme nous l'avons signalé, la C.E.S. a été, depuis l'indépendance, une affaire presque exclusivement réservée aux institutions publiques, non seulement par la mise en oeuvre de divers moyens techniques, humains et financiers, mais encore par l'effort de conception et de réalisation des infrastructures. La justification de cette intervention publique peut être expliquée par le fait que, d'une part, le seul mécanisme de marché devient insuffisant et inadéquat pour l'assignation optimale des ressources rares, et que, d'autre part, les agents économiques privés agissent en fonction de leurs propres intérêts (coûts et bénéfices privés) immédiats indépendamment des considérations relatives aux générations futures, à l'utilisation de ces ressources, à la capacité de récupération et de conservation inter-générations des moyens naturels de production.

Les objectifs de cette intervention peuvent être classés, en se basant sur les fonctions étatiques, en deux types. Le premier objectif, cherchant la protection des terres, l'amélioration de la productivité, la reconstitution de la fertilité et la maîtrise correcte des ressources agricoles, est conforme à la fonction étatique d'allocation optimale des ressources rares. Le deuxième, visant essentiellement l'instauration d'une politique de développement local durable et d'équilibre régional, s'inscrit dans le principe de

l'équité, aussi bien générationnelle qu'intergénérationnelle, dans la répartition des richesses, rôle exclusivement réservé aux pouvoirs publics.

A cet égard, deux questions, pourraient être posées: ***Comment peut-on valoriser l'efficacité de ces deux fonctions étatiques d'allocation et de répartition? Doit-on la juger par rapport à un critère unique de rentabilité ou d'efficacité économique ou d'après des critères multiples qui peuvent comprendre la répartition des revenus, la maîtrise des ressources, la diminution de l'exode rural, etc...?***

3/ C.E.S. : pour qui?

Etant donné la diversité de ses objectifs, la CES peut concerner différents acteurs avec des préoccupations plus ou moins différentes:

* L'Etat, par le biais de ses divers Ministères (Agriculture, Plan, Environnement) cherchant à travers ce projet une allocation optimale des ressources naturelles et financières rares et un développement local et régional durable.

* Les agriculteurs, essentiellement ceux qui sont concernés par le projet, constituant une population très hétérogène ayant plus qu'une seule préoccupation, et cherchant en priorité la rentabilité à court terme à travers la réalisation des travaux de CES.

* Les générations futures qui ne peuvent, matériellement parlant, exprimer leurs points de vue. Toutefois, compte tenu des données objectives relatives à l'essor démographique et à la faible amélioration des productivités des facteurs de production, ces générations ne peuvent qu'appuyer tout programme d'action visant la protection et la sauvegarde d'un patrimoine édaphique tant menacé et tant convoité.

* Les résidents (agriculteurs) des zones situées en aval des parties traitées, qui sont indirectement dépendants des aménagements CES par le phénomène des externalités aussi bien positives que négatives.

III/ C.E.S. : une intégration des politiques agricoles et environnementales

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

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

intrants agricoles, en détruisant l'équilibre écologique et en portant atteinte à certains biens d'intérêt public comme un paysage rural agréable.

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

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

En Tunisie, la CES peut être considérée comme un exemple type de cette intégration agricole et environnementale. En effet, la CES peut être considérée comme une politique agricole puisqu'elle vise l'amélioration de la productivité, le développement local et l'équilibre régionale, comme elle peut aussi être une politique environnementale puisqu'elle cherche la protection des terres, la reconstitution de fertilité, la conservation des ressources, la maîtrise de l'espace, etc... ***Donc, doit-on la juger du point de vue agricole ou environnemental, ou les deux ensemble?***

IV/ C.E.S. : pour un développement durable

Le concept, sinon l'expression de développement durable, plonge ses racines dans les origines même de la science économique moderne. Malthus et Ricardo, avaient déjà entrevu les limites <<naturelles>> de la croissance économique. Les travaux du club de Rome, il y a bientôt vingt ans, provoquèrent une prise de conscience aiguë de ces problèmes.

L'idée a fait son chemin depuis et l'expression de <<développement durable>> a récemment refait surface sur la scène internationale à la suite du rapport de la Commission Mondiale sur l'environnement et le développement (commission Brundtland) en 1987 qui le définit comme <<...un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans hypothéquer la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins. Il s'agit de considérer à la fois les facteurs sociaux, économiques et naturels qui affectent le développement à court et long termes>>.

Donc, pour un développement durable, il faut aménager et conserver les ressources naturelles et orienter les changements techniques et institutionnels de manière à satisfaire les besoins des générations actuelles et futures. Dans le secteur de l'agriculture, il s'agit de conserver les terres et les eaux et d'utiliser des moyens sans danger pour l'environnement, techniquement bien adaptés, économiquement viables et socialement acceptables **(FAO, 1990).**

Cette durabilité ne concerne pas seulement les pays développés, mais aussi tous les pays du tiers monde, à économie de marché ou planifiée. << Ainsi, les objectifs du développement économique et social sont définis en fonction de la durée, et ce dans tous les pays développés ou en développement, à économie de marché ou à économie planifiée. Les interprétations pourront varier d'un pays à l'autre, mais elles devront comporter certains éléments communs et s'accorder sur la notion fondamentale de développement soutenable et sur un cadre stratégique permettant d'y parvenir>> **(WCED, 1987).**

En Tunisie, partant de ces nombreuses définitions du développement durable, l'action CES peut être assimilée à une innovation technique permettant un développement durable de l'agriculture et en particulier de l'exploitation agricole, étant donné qu'elle remplit les quatre conditions suivantes :

- Elle accomplit son rôle physique de protection des ressources;
- Elle entraîne une amélioration des performances économiques;
- Elle s'accompagne d'une amélioration des moyens de production;
- Elle permet une meilleure maîtrise de l'espace **(Attonaty J.M., 1980).**

V/C.E.S. et équité intergénérationnelle

D'une manière générale, les choix faits en matière des ressources naturelles et de l'environnement doivent s'inscrire nécessairement dans le temps. Ils doivent mettre en jeu et avec le même titre d'égalité le bien être des générations actuelles et futures. La décision de mobilisation et de conservation des ressources, prise aujourd'hui par la génération actuelle engage non seulement le présent mais aussi l'avenir, en ce sens que l'épuisement ou la dégradation par exemple d'une ressource, commune à plusieurs générations, conséquences, aujourd'hui, de l'exploitation par la génération actuelle, engendre soit une disparition totale de celle-ci dans l'avenir, soit des coûts économiques et écologiques qui seront assumés par les générations futures et non partagés avec ceux qui ont fait l'usage. Ce constat, considéré pour longtemps du domaine de l'éthique, doit prendre de plus en plus d'importance dans les politiques actuelles des ressources naturelles.

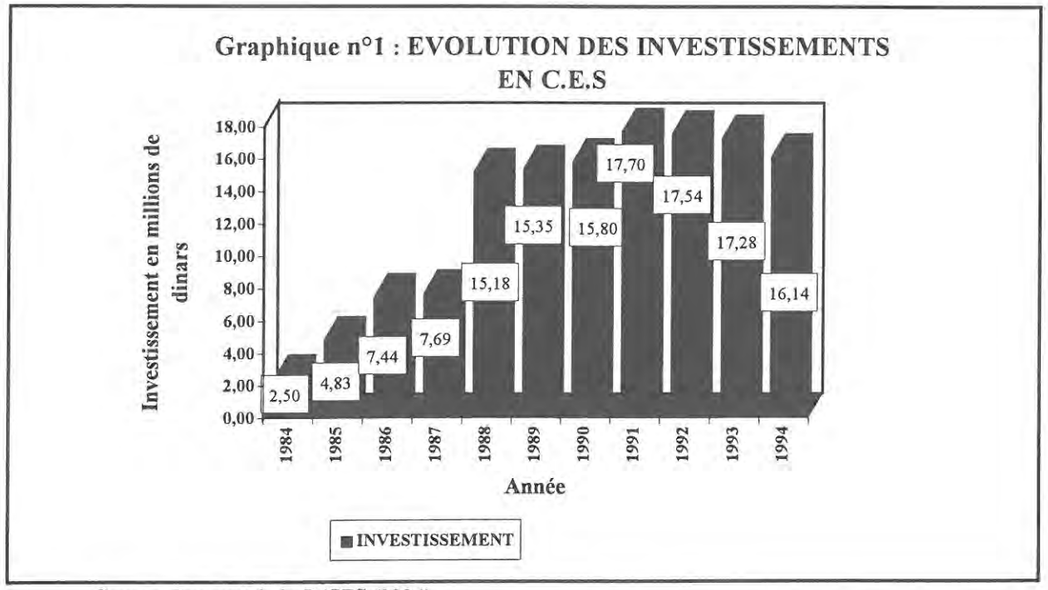
En Tunisie, la mise en place des stratégies de C.E.S. doit impérativement prendre en compte ces aspects d'équité intergénérationnelle. Ces stratégies doivent constituer un outil substantiel pour assurer un développement durable de ces ressources, lesquelles cherchent à répondre aux besoins des générations actuelle et future. *Cependant, **est-il possible d'admettre que ces stratégies vont répondre réellement à ces besoins et à ces inégalités intergénérationnelle**?* Une interrogation assez délicate qui laisse le champs ouvert aux économistes et aux décideurs d'y apporter une réponse qui n'est pas aussi facile à trouver puisqu'ils ignorent les besoins et le nombre des générations futures.

VI/ Evolution des dépenses en matière de C.E.S.

Comme l'indique la courbe ci-dessous, les dépenses publiques inhérentes à la réalisation des aménagements en matière de CES ont suivi, au cours de la dernière décennie, deux grandes phases:

* Une première phase qui s'étend de 1984 à 1991 et qui correspond aux dernières années de la stratégie de la maîtrise physique. Au cours de cette phase, les dépenses publiques sont de plus en plus élevées atteignant des niveaux sans précédents. En effet, on a enregistré un passage de 2,5 MD a 17,70 MD (prix 1984) soit une augmentation de l'ordre de 6 fois (cf.: graphique n°1.1).

* Une deuxième phase qui s'étend de 1991 à 1994 et qui correspond aux premières années de la nouvelle stratégie (stratégie de la participation). Pendant cette phase, les dépenses publiques ont subi une légère baisse, mais en gardant toujours un niveau élevé. Elles sont passées de 17,7O MD à 16,14 MD soit une diminution de l'ordre de 9%. Cette diminution est due essentiellement à l'implication des exploitants dans toutes les actions de lutte contre l'érosion, notamment au niveau de l'exécution des travaux anti-érosifs, de la maintenance et de la sauvegarde des aménagements. Les dépenses publiques sont consacrées en grande partie à la réalisation des projets d'aménagement des bassins-versants et des ouvrages de mobilisation des eaux de ruissellement.



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

Cependant, malgré ces investissements considérables, nous disposons de très peu de données, d'une part, sur le degré d'efficacité de ces travaux d'un point de vue technique, économique et environnemental et, d'autre part, sur l'attitude de la population vis-à-vis de ces réalisations.

Pour remédier à cette rareté des données, les recherches en matière de suivi et d'évaluation de ces types de projets devraient se multiplier afin de jouer un rôle indispensable à la mise en relief des aspects positifs et négatifs des réalisations et à améliorer l'efficacité des prochaines projets types.

Section II : les éléments de la problématique

I/ Formulation de la problématique

Partant des éléments du constat relatif d'une part, à la gravité de l'érosion et, d'autre part, à l'importance des dépenses publiques en matière de C.E.S. visant à atténuer ce phénomène, une série d'interrogations, pouvant faire l'objet de nombreuses études, pourrait être posée. Ces interrogations concernent essentiellement l'opportunité et l'efficacité de cette intervention publique.

Ces aménagements réalisés qui ont bénéficié de considérables investissements sont-ils capables de rémunérer et de rentabiliser le capital investi ?

Quels sont leurs degrés d'efficacité du points de vue technique, social, et économique?

Quelle est l'attitude de la population rurale vis-à-vis de ces réalisations ?

Est-il possible d'adopter d'autres programmes plus efficaces?

Ces aménagements, qui conservent les ressources naturelles et qui cherchent une croissance économique durable, sont-ils suivis d'investissements additionnels du fait de l'existence d'un support ou d'un capital foncier apte à les rentabiliser? Quels sont ces investissements et quels sont leurs

critères de choix? Quel système de production agricole faut-il appliquer afin de valoriser le capital investi?

Cependant, vu la multitude et la divergence de ces interrogations, nous nous trouvons dans l'obligation d'en sélectionner quelques-unes qui vont faire l'objet de notre problématique. Celles que nous avons laissés peuvent faire l'objet d'un prochain travail de recherche.

Ainsi, notre problématique peut se résumer en trois principales interrogations renvoyant chacune aux principaux développements de l'étude:

Ces aménagements de C.E.S. sont-ils en mesure de répondre aux trois objectifs primordiaux : l'amélioration de la productivité, la protection des terres et la reconstitution de la fertilité? Quels sont leurs degrés d'efficacité notamment sur les rendements et sur les pertes du sol?. *L'analyse de l'évaluation et de l'impact dégagée par le modèle biophysique propose des réponses à ces questions.*

Quels sont les effets de ces aménagements sur les systèmes de production et sur la vie économique et environnementale de l'exploitation? *La réponse est en rapport avec l'analyse des résultats obtenue par le modèle économique.*

Quoi produire, par quelles techniques, à quels moments précis de l'année et en quelles quantités doit-on produire afin de parvenir à un système de production qui soit, à la fois, bénéfique à l'environnement et capable de valoriser ces mesures de conservation? *Cela renvoie à une analyse des simulations obtenues par l'approche multicritère.*

II/ Hypothèses explicatives

Pour répondre aux questions posées, nous avons adopté les hypothèses suivantes:

1/ Première hypothèse

Cette hypothèse est relative à la rentabilité et à l'efficacité des travaux de C.E.S., elle correspond donc aux premières séries de questions formulées dans la problématique.

Les travaux de C.E.S. n'arrivent pas à dégager un taux de rentabilité économique acceptable à court terme. Par contre à long terme leur efficacité en particulier à une échelle micro-économique, est satisfaisante.

2/ Deuxième hypothèse

Elle correspond aux moyens et aux actions à mettre en oeuvre parallèlement aux travaux de C.E.S. afin de les valoriser.

La rentabilité des travaux de C.E.S. peut être améliorée par l'intégration d'autres activités productives capable d'améliorer le système de production toute en tenant compte des aspects environnementaux.

Deuxième chapitre
Cadre théorique et approche méthodologique

Introduction

Dans tout travail de recherche, la problématique et les éléments de constat engagent la sélection d'une grille d'analyse théorique qui n'est pas toujours facile à mettre en oeuvre du fait de la convergence de plusieurs champs d'analyse économique et de la difficulté de tracer les limites et frontières de chacun d'entre eux. Le présent travail, portant sur l'étude d'un projet public de C.E.S. et son impact technique, économique et environnemental, nécessite la recherche d'une approche permettant de mettre en relation **l'économie publique**, se traduisant par l'intervention de l'Etat dans la création et la mobilisation des ressources naturelles, et **l'économie des ressources naturelles** basée sur la recherche de leur meilleure gestion.

L'emploi de cette approche devrait permettre l'évaluation aussi bien à court terme qu'à long terme de ce projet public, qui place l'action de l'Etat au service de la recherche d'une efficacité collective de l'allocation des ressources rares. Une évaluation avec laquelle on essaie de quantifier l'impact du projet, aussi bien sur tout processus naturel, en particulier l'érosion, que sur les systèmes de production agricole. Cependant, jusqu'à présent, aucun outil n'est en mesure, en intégrant les données sur ce type de projet, de parvenir à une vision intégrée des systèmes de production, sous leurs aspects physiques, sociaux, économiques et institutionnels, tant au niveau du producteur individuel qu'à celui du village ou de la région. Nous avons donc tenté de combler cette lacune en proposant une méthodologie novatrice puisant ses fondements de la veine néoclassique et aboutissant à la construction d'un modèle bio-économique.

Cette approche méthodologique consiste à utiliser simultanément *les modèles de simulation de croissance des plantes et la programmation mathématique.* Elle permet de tenir compte à la fois des aspects socio-économiques et écologiques de la production agricole, ainsi que de fournir des éléments pour l'élaboration de politiques cohérentes.

L'originalité de cette approche repose sur l'utilisation d'un modèle agronomique comme source des résultats techniques introduits par la suite dans un modèle d'optimisation économique. L'efficacité de ce type de modèle résulte de sa capacité à mesurer les effets à long terme, d'une part, de l'érosion sur la productivité des sols et, d'autre part, des diverses alternatives de gestion des ressources eau et sol.

Economiquement, l'avantage principal de cette approche est que <<les modèles vérifient la cohérence de la construction logique et font ressortir les éventuelles failles dans le raisonnement: le modèle sert alors de critère d'appréciation du travail théorique et non pas seulement de support à la validation empirique de ce dernier>> **(Boyer R., 1987).** Le second avantage, mis en valeur par **J.M. Boussard** (1988), est de pouvoir s'adapter aux diverses approches aussi bien au niveau macro-économique que micro-économique sans pour autant séparer ces deux approches vu leur complémentarité. Comme le signale **J.M. Boussard** (1987) *"rien ne peut se faire en macro-économie sans partir de bases solides en micro-économie".*

Dans le présent travail, nous nous alignons sur l'approche de **D. Deybe** (1993) sur le fait que <<l'optimisation au niveau global ne permet pas d'appréhender le niveau sectoriel et régional>> pour s'écarter de l'approche strictement macro-économique afin de s'inscrire dans un *cadre micro-économique* - approche souvent utilisée en économie de l'environnement.

Dans ce contexte, nous allons essayer de focaliser notre étude au niveau *d'une exploitation agricole individuelle* étant donné que les décisions de production sont prises au sein de l'exploitation même, et c'est donc à ce niveau que se situe le modèle initial. Comme l'indique **Solow R.M** (1974) "*la théorie de la production est par essence micro-économique du fait qu'elle s'occupe d'inputs et d'outputs qui peuvent être différenciés du point de vue physique*" **sachant que l'extrapolation n'est possible que par la multiplication des études de cas.** Nous nous rapprochons ainsi de l'idée d'El Serafy qui signale que *"l'approche doit être graduelle, en essayant d'introduire les éléments quantifiables dans l'analyse à mesure que nos connaissances s'améliorent ".*

Cependant, avant de nous pencher sur l'explication de notre démarche méthodologique, il n'est pas inutile de la situer dans son cadre théorique par une analyse et une interprétation de la forte interaction qui peut exister entre économie publique et économie des ressources naturelles.

Section I : Cadre théorique

I/ L'Etat dans la nouvelle économie publique : vers une allocation optimale des ressources

L'économie publique est une discipline qui cherche à expliquer et à analyser les interventions des pouvoirs publics dans l'économie, au premier rang duquel on trouve l'Etat et les collectivités publiques à statut public ou à statut privé. Cette discipline se situe dans le champ de la macro-économie, mais c'est essentiellement de la micro-économie. Elle constitue en fait un couplage entre l'approche macro-économique qu'on qualifie d'économie financière et l'approche micro-économique d'économie de Welfare ou d'avantage collectif.

A l'inverse de l'économie politique, qui cherche à analyser la concurrence politique entre les groupes de pression pour bénéficier de l'intervention publique, l'économie publique cherche à expliquer et à évaluer les instruments de cette intervention.

Dans le présent travail, étant donné que notre objectif consiste à évaluer une intervention publique se manifestant par l'élaboration d'un projet public, il serait intéressant d'utiliser les concepts de cette discipline. L'utilisation de ces concepts va nous permettre essentiellement de définir l'Etat, son rôle, ses branches, les raisons de son intervention, sa façon d'intervenir, les moments d'intervention, etc...

1/ La conception libérale du rôle de l'Etat

Pour les libéraux, l'Etat n'est en fait que la somme des individus qui décident d'agir collectivement. Il n'est qu'un moyen permettant aux individus de poursuivre leurs intérêts personnels lorsque le marché est défaillant. Les individus s'adressent à lui pour obtenir certaines prestations comme un intérêt individuel commun à plusieurs personnes.

Cette conception individualiste, libérale de l'Etat, est fondée sur la croyance que le système du marché détermine un équilibre unique et stable et que cet équilibre est une situation optimale au sens de Pareto: l'allocation des ressources est telle que le bien-être d'un individu ne peut plus être amélioré, du moins sans détériorer le bien-être d'un ou de plusieurs autres individus.

Cette confiance dans les mécanismes du marché conduit à une limitation du rôle de l'Etat, à des missions bien précises: promouvoir le libre-échange sur le plan intérieur comme sur le plan international, garantir le respect des contrats et la sécurité des biens et des personnes. Cela correspond aux missions de

<<l'Etat gendarme>>: l'Etat est avant tout un producteur de sécurité. Donc, la règle c'est le marché, l'exception c'est l'Etat **(Percebois J., 1991)**

Leur logique économique privilégie les décisions privées d'allocation des ressources chaque fois que les conditions nécessaires au bon fonctionnement d'un système de marché dans lesquels les échanges ont lieu, sont remplies. Toutefois, si l'une ou plusieurs de ces conditions ne sont pas remplies, l'Etat se doit d'intervenir pour restaurer les conditions de l'optimum ou agir comme si elles étaient remplies **(Young R. A., 1993)**.

2/ Justification de l'intervention de l'Etat : faire face au défaillance du marché

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

Comme l'indique **R.A. Young** (1993), l'intervention de l'Etat dans l'allocation optimale des ressources peut être jugée efficace dans les conditions suivantes:

❶ **Présence des biens collectifs:** au sens strict du terme, un bien collectif est un bien qui présente les deux caractéristiques suivantes:
* ***Principe de non rivalité***: peut être consommé simultanément par une ou plusieurs personnes sans que la consommation de l'une diminue la quantité disponible pour les autres.
* ***Principe de non exclusion***: on ne peut pas exclure le consommateur. Le bien est mis à la disposition de tous les consommateurs dès qu'il est mis à la disposition d'un seul.

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

❷ **Présence d'externalités**: Une externalité peut être définie comme "*l'interdépendance entre les fonctions caractéristiques des agents économiques qui créent des avantages ou des inconvénients qui ne font pas l'objet de choix de part et d'autre*" **(Boisson J.M., 1996).** Ces interdépendances non arbitrées conduisent à une divergence entre les coûts individuels des activités économiques et les coûts sociaux. L'Etat doit donc intervenir pour "internaliser" ces externalités surtout lorsque celles-ci compromettent l'apparition d'un optimum.

❸ **Présence de monopole**: En cas de monopole naturel, il n'y a plus d'égalité entre le prix du marché et le coût marginal de la firme. Le prix est alors sensiblement supérieur au coût marginal, ce qui n'est plus conforme à la condition de Pareto. L'Etat se doit intervenir soit par une restauration de la concurrence en démantelant le monopole, soit par une nationalisation (régulation) de ce dernier et une obligation du monopole public de respecter l'intérêt collectif en pratiquant une tarification au coût marginal.

3/ Les branches d'intervention de l'Etat

En s'appuyant sur la <<théorie des trois bureaux>> de **R. Musgrave**, l'intervention des pouvoirs publics est articulée autour de trois branches principales: l'allocation des ressources, la distribution des revenus et la stabilisation des conjonctures. Les deux premières branches sont d'origine néoclassique, alors que la dernière d'origine Keynésienne.

❶ **Une branche d'allocation des ressources:** l'Etat doit intervenir afin de promouvoir une allocation optimale des ressources aux différents usages (intermédiaire et final) en cas de défaillance du marché. Cette allocation doit être déterminée par des considérations d'efficacité pour qu'elle puisse justifier ces politiques d'intervention.

❷ **Une branche de distribution des revenus:** inspirés par des soucis d'équité ou de justice sociale, les pouvoirs publics interviennent afin d'assurer une répartition des revenus entre les groupes sociaux. En effet, le bien-être collectif peut être amélioré si des transferts des revenus sont autoritairement réalisés pour combattre les inégalités engendrées par la répartition primaire.

❸ **Une branche de stabilisation des conjonctures:** faisant référence à une approche macro-économique d'inspiration keynésienne, le souci de la stabilisation cherche à atteindre une économie avec un sentier de croissance équilibrée. Un sentier que les mécanismes du marché sont incapables de garantir. Par conséquent, l'Etat doit intervenir par divers instruments de politique économique pour qu'un tel équilibre puisse être atteint.

II/ Les ressources naturelles : concepts, fondements et théorie

Partout dans le monde, la prise de conscience contemporaine des questions de ressources naturelles et d'environnement n'est pas un phénomène de mode. Elle s'inscrit dans un processus d'évolution historique de longue durée qui date des années soixante. Cette évolution naît de la vérification de la possibilité d'épuisement des ressources naturelles et de la difficulté de prévoir les coûts et les avantages que l'homme va soutenir dans son impact sur l'environnement et sur les ressources naturelles.

En effet, pendant longtemps, l'individu, acteur économique, a ignoré la nécessité de sauvegarder l'environnement et les ressources naturelles et il a échappé à toute intention d'impliquer ces variables dans les stratégies économiques et productives. La culture dominante affirmait que les ressources naturelles sont des biens inépuisables, avec des disponibilités immenses et sans limites et que les effets de l'activité de l'homme ne peuvent pas interagir avec son intégrité. L'acceptation, d'une part, de l'économie du cow-boy "*acquérir et exploiter toutes les ressources en sachant qu'elles sont copieuses*", et, d'autre part, de l'idée de **J.B. Say** "*les richesses naturelles sont inépuisables... Ne pouvant être multipliées, ni épuisées, elles ne font pas l'objet des sciences économiques*", confirme bien cette culture.

Cette prise de conscience de la détérioration des ressources naturelles et de l'environnement va donner naissance à une nouvelle branche de la science économique," **l'économie des ressources naturelles et de l'environnement".** Cette nouvelle branche puise ses fondements et ses principes dans l'essence même de la science économique qui est définie par **L. Robbins** comme "*l'étude des formes que prend le comportement humain dans la disposition de moyens rares*" **(cité par Barde J.PH., 1977).** A la différence de l'économie en général qui est une activité isolée et unidimensionnelle, dans une perspective de répétition éternelle des mouvements, l'économie des ressources naturelles et de l'environnement est une économie pluridimensionnelle qui se veut ouverte sur son environnement **(Faucheux S. et Noël J.F., 1995).**

Le point de départ de cette discipline est le refus d'admettre qu'environnement et économie sont deux entités distinctes. Elles sont inextricablement liées par des lois physiques fondamentales et par la façon dont la qualité de l'environnement affecte le bien être des hommes. Les objectifs généraux des politiques de l'environnement et du développement ne sont pas antinomiques mais sont en fait les mêmes, à savoir l'amélioration de la qualité de la vie ou du bien être des générations présentes et futures. C'est donc en toute logique, et par essence même, que la gestion de l'environnement s'intègre dans la sphère économique. Comme l'indique **Barde J.PH.** (1977) "*l'environnement n'est pas une discipline en soi, il*

n'est pas de domaine particulier, aux frontières définies. C'est pourquoi on a coutume de dire que toute étude relative à l'environnement est interdisciplinaire par définition".

Les fondements de cette nouvelle discipline, comme ils ont été définis par **D.W. Pearce** (1990) , tiennent dans une séquence en trois points: **l'importance, la causalité, la politique**. Sachant qu'il existe des problèmes de ressources naturelles et d'environnement, quelle en est l'importance? Comment apparaissent-ils? Et quelle politique concevoir pour les résoudre?

Cependant, la nécessité contemporaine d'analyser les rapports de l'économie et des ressources naturelles, ne doit pas faire oublier que la réflexion économique ne commence pas aujourd'hui et qu'elle est le résultat d'un questionnement qui remonte à plusieurs siècles. Par conséquent, il serait très intéressant dans cette section tout d'abord, de revenir sur les fondements analytiques de l'économie des ressources naturelles en procédant à un rapide tour d'horizon de la pensée économique passée et présente à l'égard des problèmes des ressources naturelles, d'abord en ce qui concerne leur disponibilité en **quantité**, ensuite du point de vue de leur détérioration en **qualité**. Ensuite, de connaître les procédures d'analyse économique des ressources naturelles renouvelables, objet d'actuels travaux de recherche.

1/ Concepts et typologie des ressources naturelles vus par les sciences économiques

A/ Définition et concept

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

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

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

Concernant les ressources naturelles intervenant de façon importante dans toute activité économique, leur concept a depuis longtemps fait l'objet d'une grande discussion (terre, eau). Selon **R. Passet** (1990) *" L'économiste qualifie de naturelles les ressources qui, outre la force de travail, sont offertes par la nature. Celles-ci, bien que devant être extraites et transformées, n'ont pas à être "produites" ou "fabriquées" au sens propre du terme".* **C.W. Howe** (1979) précise d'avantage que ces ressources sont, au pire ignorées, aux mieux appréhendées comme des facteurs de production qui, combinés avec le travail, le capital et les matières premières, produisent des biens et des services. La théorie des ressources pense en général une ressource naturelle comme un facteur de production à part entière, tout en reconnaissant que la plupart des ressources naturelles ont des caractéristiques qui les rendent très proches du capital. Elles sont utilisées dans la consommation ou dans les processus de production, mais avant cela, la plupart des ressources naturelles doivent être extraites ou récoltées.

Cependant pour mieux appréhender et connaître le concept de ces ressources qui ne peuvent être créées par l'homme, mais lui servant directement ou par ses effets à satisfaire ses besoins, il serait intéressant de parcourir l'histoire de la pensée économique.

B/ Caractéristiques et typologie

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

Dans un tel contexte (technique, culturel, économique,...), les ressources naturelles se caractérisent par une (ou plusieurs) de ces trois propriétés:
* Leur stock a une valeur intrinsèque (valeur patrimoniale);
* Leurs quantités préexistent à toute activité économique;
* Leurs taux de renouvellement sont des variables d'état et non de commande.

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

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

❶ ***Ressources naturelles non renouvelables:*** ce sont des ressources dont l'usage est nécessairement limité. Dans la catégorie des ressources non renouvelables figurent:
- Des ressources dont l'usage est nécessairement destructif: il s'agit notamment des ressources énergétiques de type fossile, pétrole, gaz, charbon. Toute unité utilisée de ces ressources est détruite. La ressource disponible dépend des quantités exploitées antérieurement;
- Des ressources recyclables dont une partie est réutilisable après usage, les minerais appartiennent à ce groupe;
- Des ressources à usage non nécessairement destructif, qui pourraient se perpétuer si l'on en faisait un usage convenable; on pense ici aux sols confrontés aux phénomènes d'érosion, mais aussi à l'ozone stratosphérique par exemple.

❷ ***Ressources naturelles renouvelables:*** Ce sont des ressources dont le stock n'est pas fixe et peut augmenter ou diminuer dans le temps. Il augmente quand les apports ou les régénérations dépassent les prélèvements **(Pearce D.W. et Turner R.K., 1990).** Dans ce groupe des ressources figurent:
- Des ressources dont la quantité annuelle disponible n'est pas liée aux prélèvements antérieurs: on mentionnera par exemple la pluviométrie ou les eaux de rivières.
- Des ressources dont la quantité annuelle disponible est liée aux prélèvements antérieurs. Il s'agit principalement des ressources biologiques. Le stock et la productivité nette d'une population biologique exploitée sont liés aux prélèvements antérieurs.

2/ Les premières approches de l'économie des ressources naturelles

L'introduction des ressources naturelles et de l'environnement dans la théorie économique et dans les choix politiques est le fruit d'une mobilisation sociale et d'un esprit de responsabilité publique liée à l'émergence des problèmes qui datent d'une vingtaine d'années. C'est en effet au début des années soixante qu'émergent publiquement les préoccupations liées aux interactions entre l'environnement et les activités économiques.

Cependant, cette mobilisation n'est toutefois pas née de rien en 1960, elle est le résultat d'une longue réflexion économique qui date de plusieurs siècles. En effet, le développement de ce corpus théorique s'est en fait nourri de différentes contributions de l'histoire de la pensée économique. C'est ce que nous tentons de mettre en évidence dans cette section.

A/Les inquiétudes des économistes classiques

En réalité, le fait que les ressources naturelles les plus indispensables aux activités humaines et, par conséquent, les plus exploitées, ne soient disponibles qu'en quantités limitées a été très fortement ressenti par les physiocrates avant qu'elles passent dans le champ des économistes classiques.

Contrairement aux mercantilistes qui estiment que les métaux sont les seules sources de richesse, les physiocrates affirment que l'agriculture est la seule activité productive, puisque toute richesse vient de la nature. Seule la terre peut donner plus que ce qu'on lui donne (une quantité de blé semée produit une quantité supérieure). Les autres activités sont considérées comme stériles puisqu'elles ne font que transformer les produits de la terre ou les transporter. *"Que le Séverin de la nation ne perde jamais de vue que la terre est l'unique source de richesse"* **(Quesnay, 1774).**

Toutefois, il faut comprendre que les ressources naturelles et, en particulier, la terre chez les physiocrates ne constituent qu'un symbole, celui de l'ensemble des flux bénéfiques directs et indirects dispensés par la nature. Autrement dit, c'est le symbole de l'ensemble des ressources naturelles. *"La terre est la mère de tous les biens"* **(Mirabeau, 1760).**

Les classiques accordent eux aussi aux ressources naturelles une place de choix importante au sein de leur théorie de la production puisqu'ils leur reconnaissent explicitement un rôle moteur, tant dans l'industrie que dans l'agriculture.

Cependant, la multiplication des produits et le développement des marchés ont poussé les classiques à adopter une véritable théorie de la valeur. Dans la mesure où <<tant qu'elles possèdent une utilité, les marchandises tirent leur valeur d'échange de deux sources: leur rareté et la quantité de travail nécessaire pour les obtenir>> **(Ricardo, 1821).** Les valeurs d'échange des ressources naturelles non productibles et disponibles en abondance sont donc nulles. Un grand nombre d'entre elles se trouvent alors exclues du champ de l'économique et constituent ce qu'on appelle les biens libres.

La terre, en raison de sa limitation en quantité et de l'appropriation qui en découle, elle apparaît bien entendu comme une ressource naturelle marchande et donc appréhendée par l'analyse économique. Son rôle est fondamental comme l'indiquent Malthus et Ricardo dans leurs théories de la rente, puisque c'est elle qui conditionne la croissance économique, qu'elle la favorise par sa fécondité ou qu'elle la limite en raison de son avarice.

En effet, la théorie de la rente Ricardienne présente également d'intéressantes réflexions sur les relations entre la rareté des ressources et la croissance économique. Pour lui, les terres les plus fertiles étaient mises en culture les premières, de sorte que la croissance économique exigeait l'exploitation de terres de moins en moins productives. La croissance devait donc s'accompagner de coûts croissants. *"si la terre jouissait partout des mêmes propriétés, si son étendue était sans borne et sa qualité uniforme, on ne pourrait rien exiger pour le droit de la cultiver"* **(Ricardo, 1821).**

Au total, on peut dire que, paradoxalement, les classiques ont accordé un rôle privilégié aux ressources naturelles marchandes -dotées d'une valeur d'échange dans la théorie de la production- accompagnées d'une exclusion du champ de l'analyse économique des ressources naturelles non marchandes -libres, vue leur abondance-.

Cependant, jusqu'à cette date, le problème de la détérioration de la qualité des ressources n'avait guère été saisi par ces grands précurseurs, ils ne se sont préoccupés que de la quantité. L'économie s'est trouvée donc déformée et déphasée face aux problèmes de pollution et de pertes des ressources.

B/ Marx

"L'homme ne peut point procéder autant que la nature elle-même, c'est-à-dire qu'il ne fait que changer la forme de la matière. Bien plus dans cette oeuvre de simple transformation, il est constamment soutenu par des forces naturelles" **(Marx, 1867).**

D'après cette affirmation, on remarque que Marx reprend l'idée des physiocrates concernant la nature. Il considère que l'homme, par l'intermédiaire de son travail, ne peut pas produire de richesses matérielles sans le recours à la nature. Toutefois, il affirme que la terre et le travail se complètent. Il reprend en fait presque l'idée de **W. Petty** " *le travail est le père et la terre en est la mère".*

Marx n'exclut donc pas a priori les ressources naturelles du champ de l'analyse économique. Il ne trace pas de frontière entre l'économique et la nature, l'ensemble des ressources naturelles lui parait un objet de l'analyse économique à part entière.

En effet, contrairement aux classiques et physiocrates, Marx n'exclut pas du champ de l'analyse économique les ressources naturelles non marchandes. Il privilégie les valeurs d'usage au détriment des valeurs d'échange en se basant sur le fait que les deuxièmes ne sont pas une propriété intrinsèque de la marchandise, à l'encontre des premières qui correspondent à une telle propriété. <<Une chose peut être une valeur d'usage sans être une valeur d'échange. Il suffit pour cela qu'elle soit utile à l'homme sans qu'elle provienne de son travail., tels sont l'air, les prairies naturelles, les sols vierges, etc.>>.

C/ Néoclassique : passage du problème de quantité au problème de qualité

Si l'économie classique avait centré son propos sur la production et la répartition des ressources naturelles, en d'autres termes sur les quantités limitées des ressources naturelles, tout en oubliant les questions de qualité, l'économie néoclassique a développé, à partir de 1870, ces deux aspects en parallèle.

a/ Quantité limitée des ressources naturelles

En rejoignant l'idée des classiques, les néoclassiques considèrent que les biens qui existent en abondance, à savoir la plupart des ressources naturelles, ne sont pas des biens économiques mais des biens libres. Ils expliquent la valeur d'échange en terme de valeur d'usage en rapprochant le concept d'utilité de celui de rareté. Comme l'indique **Walras** *"les choses utiles limitées en quantité sont appropriables, valables, échangeables, industriellement productibles et multipliables".*

Toutefois, les néoclassiques s'éloignent des classiques en ce qui concerne les ressources naturelles marchandes, étant donné le passage d'une théorie de production à une théorie d'échange. En effet, dès les premiers néoclassiques, la théorie de production ne constitue plus un thème central comme dans l'univers classique, mais un simple prolongement de la théorie d'échange. Lorsque vers 1895 la théorie dite <<complète>> de la production est formulée, il ne s'agit toujours pas d'une théorie de la production en soi, mais plutôt d'une théorie de la distribution de la production entre les facteurs de cette dernière. La conséquence directe d'une telle approche est l'élimination progressive des ressources naturelles marchandes du champ de la production. Cette élimination touche la plupart des matières premières à l'exception de la terre. Cette dernière a été considérée au début par Walras comme étant un don gratuit de la nature et ne fait pas partie des facteurs de production. *"Les terres sont des capitaux inconsommables qui ne se détruisent pas par l'usage, ni ne périssent par accident...ces deux circonstances ont chacune leur importance, mais c'est surtout leur coexistence qui donne aux capitaux fonciers leur caractère propre et particulier"* **(Walras, 1874)**.

Toute fois, cette idée n'a pas durée longtemps après l'arrivée de Marshall qui va mettre la terre sur un pied d'égalité avec les deux autres facteurs, le capital et le travail. Marshall, en dépit de sa première définition de la rente comme <<le revenu tiré de la propriété du sol et des autres dons de la nature>>, amorce rapidement la première extension de ce concept en lui adjoignant la "quasi-rente" produite par la rareté et valable pour tout <<*capital tiré d'un appareil de production déjà fabriqué par l'homme*>>. Il explique alors que tous les prix payés pour les services des biens capitaux sont analogues aux prix des services des agents naturels, notamment en période courte. Cette idée a été amorcée en 1910 par Wiksteed qui insiste sur le fait que la définition habituelle de la terre en tant que <<don gratuit de la nature>> doit être abandonnée une fois pour toutes.

Cependant, avec l'arrivée de **F.H. Knight** en 1921, une autre controverse naît en supposant l'absence de complémentarité entre les inputs, elle implique une possibilité de substituabilité totale. En effet, il transforme la triade traditionnelle (travail, capital, terre) en une dyade (travail, capital) en disant que la terre apparaît comme facilement remplaçable par du travail et/ou du capital. Cette idée a été refusée par Bohm-Bawerk qui avait justement proposé une autre dyade qui, cette fois, ne contenait que le travail et les ressources naturelles comme facteurs originaux. Il y eut alors une longue discussion pour savoir s'il était correct ou non d'inclure la terre dans le capital.

Selon le premier argument, l'abondance de la majorité des ressources naturelles est telle qu'elles sont économiquement gratuites et qu'il ne s'agit donc pas de biens économiques et encore moins de facteurs de production. Cette analyse se rapproche des vues de Wisksteed qui, en 1910, insistait sur le fait que la terre n'était pas limitée, même en Grande-Bretagne, mais apparaissait plutôt comme un facteur abondant, ce qui devait l'exclure de la fonction de production.

Le second argument est que les ressources naturelles telles que la terre, dotées d'un prix qui ne tient pas seulement aux coûts d'extractions et qui font l'objet de transaction sur le marché foncier, sont déjà contenues dans le facteur capital. On allègue que ces ressources naturelles sont des biens aménagés, transformés et entretenus par l'homme et que c'est le travail associé au capital qui a fait de ces ressources ce qu'elles sont aujourd'hui. Le résultat est une fonction de production d'après laquelle la production résulte de la mise en oeuvre des seuls travail et capital, et on fait l'hypothèse implicite que celle-ci est créée à partir de rien.

En conclusion, on peut dire que l'analyse néoclassique, au contraire de celle des classiques, a décidé d'ignorer par ces deux arguments la spécificité des ressources naturelles.

b/ Inquiétude sur la qualité et apparition de la théorie des ressources naturelles

Il faut donc attendre les années soixante-dix pour que commence à poindre une véritable préoccupation de l'analyse néoclassique à l'égard des ressources naturelles. Avant cette date, la théorie se trouve dépourvue de tout outil analytique.

En effet, ce n'est qu'après l'émergence et la propagation rapide des résultats du rapport du club de Rome en 1972 que les néoclassiques ont commencé à rechercher ce que la théorie économique avait à dire sur les problèmes liés aux ressources naturelles.

Ce rapport de Meadows sur les limites de la croissance, a alimenté d'importants débats en mettant en chiffres dans le formalisme de la dynamique des systèmes, l'idée que la croissance exponentielle de la population et des niveaux de vie buterait à terme sur la rareté des ressources naturelles de base (énergie, eau, sols, ...) et en présentant comme prochaine l'atteinte de ces limites. A partir d'une critique, tant factuelle que méthodologique, les conclusions alarmistes du rapport cédèrent la place à l'affirmation d'une idée générale: il ne convenait pas de récuser la croissance en tant que telle, mais d'identifier les modalités de la croissance susceptibles de préserver la qualité des ressources naturelles. *"si le*

navigateur ne sait pas vers quel port il se dirige, ni dans quel port il se trouve, aucun vent ne lui sera favorable" **(Sénèque, cité par LE Clech B., 1993).**

Ainsi, les résultats de ce rapport vont faire l'objet d'une première vague de réflexions et de débats en provoquant un ébranlement dans le traitement néoclassique des ressources naturelles. En effet, il va émerger une nouvelle extension qui considère que les ressources marchandes sont comme des capitaux spécifiques, c'est-à-dire ce que **R.M. Solow** va qualifier de "capital naturel". Cela signifie que les ressources naturelles marchandes (épuisables et renouvelables) ont trouvé la place qu'elles avaient au sein des théories de la production classique. Toutefois, la gestion des ressources naturelles non marchandes -libres- ne fait pas partie des préoccupations de la nouvelle théorie des ressources qui se met en place.

Donc, ce n'est qu'à partir des années soixante-dix que la théorie dite des ressources naturelles renouvelables et épuisables va se développer, bien que, dès les années cinquante et même avant, des auteurs comme Gray (1914), Hotelling (1931), Faustman (1949) et Gordon (1954) fassent des avancées dans l'analyse des allocations des ressources naturelles qui soient renouvelables ou épuisables.

Cependant, malgré la mobilisation sociale provoquée par ce rapport et en dépit de la première conférence des Nations Unies, ce n'est que dans les années quatre-vingt que resurgissent véritablement sur la scène politique internationale les questions concernant l'environnement et la conservation des ressources naturelles mondiales. La World Conservation Strategy en 1980 a pour la première fois cité le terme de développement durable en évoquant la nécessité de *"parvenir à un développement soutenable à travers la conservation des ressources vivantes"*. Ensuite, la conférence pour l'environnement et le développement des Nations Unies en 1987, qui a donné lieu à la publication du rapport Brundtland *"our common future"*, a véritablement mis en lumière ce concept et la nécessité de s'en préoccuper au plus vite. Enfin, la publication du rapport de la Banque Mondiale sur l'environnement et le développement, et la conférence de Rio en 1992 ont également contribué à rendre ces deux concepts indissociables l'un de l'autre. D'où l'appellation des années 1990 "la décennie de l'environnement".

Aujourd'hui, l'environnement représente un thème de prioritaire, que ce soit du point de vue de la communication, ou de celui de l'engagement social, politique, économique. Il est constamment au centre des objectifs de n'importe quel groupe qui vise à promouvoir les instances des consommateurs ou qui analyse le destin de notre société. En d'autres termes, il est le paramètre avec lequel on devra mesurer, étant donné qu'il conditionne le développement socio-industriel, la qualité de la vie, ainsi que les attentes pour le futur.

Actuellement, l'acceptation du terme n'est plus de type statique, mais il comprend et résume toutes les difficultés que la tutelle de l'environnement présente, c'est-à-dire la difficile intégration avec les multiples exigences du développement, la nécessité d'équilibre entre l'homme et son habitat, entre action et circonstance, entre produit et déchet, en général entre termes d'une antithèse historique qui doivent maintenant trouver un rapport harmonieux.

Cette prise de conscience est rendue possible par la forte corrélation entre croissance économique et environnement. En effet, la croissance économique ne peut pas être poursuivie sans prendre en compte les pollutions, dégradations et risques que l'activité économique occasionne à l'environnement et, par ce biais, à l'homme lui-même.

Par conséquent, les problèmes des ressources naturelles et d'environnement sont suffisamment graves pour qu'ils soient prises en compte dans les raisonnements et dans les choix concernant la croissance économique à moyen et long terme.

C'est le sens de la référence à la notion de <<développement durable>>, que d'inciter à porter un nouveau regard sur la croissance économique, sans remettre en cause, pour un horizon prévisible, le principe de cette dernière.

III/ Conclusion

A travers ce parcours, on retient essentiellement que les ressources naturelles ne prennent de valeur que tant quelles produisent des biens et des services. Leur conservation dépend, donc, en premier lieu des avantages à retirer. En effet, protéger ces ressources peut se traduire, du moins à court ou/et à moyen terme, par un ralentissement de la croissance économique, car les investissements (qui lui sont consacrés) sont faits, en règle générale, au détriment d'investissements potentiellement plus productifs, ce qui affecte le potentiel de production et, enfin de compte, la croissance. Il est donc utile de confronter les coûts de tout programme de conservation avec ses avantages. *Cependant, quel sera le meilleur outil méthodologique à utiliser pour quantifier tous les coûts et les avantages qui peuvent être induits par ce type de programme?* C'est l'objet de notre deuxième section.

Section II : Approche méthodologique

I/ Choix de la méthode

Comme nous l'avons déjà signalé, notre objectif est de quantifier les "trades-offs" entre la rentabilité économique et l'efficacité environnementale. Notre analyse quantitative se portera donc naturellement sur l'analyse de la rentabilité économique d'une part, et de l'efficacité environnementale, d'autre part. En d'autres termes, nous cherchons à connaître l'impact en terme de rendements, de résultats économiques et de perte de sol des aménagements de conservation des eaux et du sol. Une telle analyse fera appel à des méthodes habituelles de la science économique. Cependant, la complexité des interactions entre les déterminants de ces résultats d'une part, et la multiplicité des objectifs assignés à ces types d'aménagement d'autre part, rendent l'analyse plus difficile que dans les autres types techniques de C.E.S. et nécessitent ainsi un bon outil d'analyse.

1/ L'analyse économétrique : *définition et critique*

L'approche économétrique usuelle repose sur l'emploi conjugué de l'inférence statistique et de la forme analytique prédéterminée. Cette démarche est vue comme un système de relation entre des variables qui, dont certaines, sont aléatoires, qu'il s'agit de préciser à la lumière d'observations. Elle repose sur l'échantillonnage pour déterminer les paramètres d'une fonction de production dont la forme est définie à l'avance.

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

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

avec **a** vecteur des paramètres constants

Les formes analytiques les plus couramment utilisées sont la fonction Cobb Douglas (élasticité de substitution égale à 1), la CES (élasticité de substitution constante), ou la Translog (combinaisons variant de la substituabilité totale à la complémentarité totale).

Cependant, cette approche présente quelques problèmes:

❶ Le nombre limité d'observations dans l'échantillonnage et leur caractère aléatoire peut empêcher l'estimation des paramètres de fonction surtout dans le cas de certaines formes analytiques. En effet, les essais expérimentaux restent toujours très réducteurs pour estimer ces paramètres.

❷ En faisant appel à l'inférence statistique, on oblige le modélisateur à synthétiser l'information pour ne pas être contraint par le nombre de degrés de liberté du modèle, or ces agrégations supposent que l'on connaisse les fonctions de productions sous-jacentes permettant d'obtenir les optima techniques. **(Boussemart J.P., Flichman G., Jacquet F. et Lefer H.B., 1994).**

❸ Le choix des fonctions de production et leur justification constitue une difficulté assez importante surtout quand on sait qu'il n'y a pas des informations précises sur les rapports directs de cause à effet, d'une part, entre les aménagements de C.E.S. et les rendements et, d'autre part, entre celle-ci et l'érosion.

En conclusion, l'approche par les fonctions de production semble présenter un certain nombre de lacunes qui nous conduit à rechercher d'autres méthodes.

2/ L'analyse coûts-avantages : *définition et critique*

L'analyse coûts-avantages est la plus connue et la plus utilisée des méthodes d'aide à la décision. Elle constitue une méthode de sélection des projets la plus conforme aux enseignements de la théorie standard de l'économie des ressources naturelles et de l'environnement. Elle est définie par **J. Benard** comme un << ensemble de méthodes pratiques en matière d'économie politique ponctuelle, obéissant au critère de rentabilité sociale nette maximale, tous les avantages et coûts recensés étant évalués monétairement, que ce soit de façon directe ou indirecte >> **(Benard J., cité par Passet R., 1991).** L'intérêt de cette méthode se trouve dans la prise en considération, au-delà des marchés, des coûts et avantages directes et indirectes ; mais par définition, celle-ci se limite à ce qui est à la fois quantifiable et monétarisable. Cependant, si l'évaluation des coûts ne pose pas trop de problème, puisqu'ils sont directement par nature exprimés en terme monétaire, le problème se situe donc essentiellement du côté de l'évaluation des avantages..

En Tunisie, afin d'évaluer l'impact économique et environnementale des aménagements de C.E.S. et pour dépasser la difficulté à spécifier les fonctions de production, les experts et les organismes internationaux ont pensé établir des sites expérimentaux. Différentes combinaisons, pour différents types de techniques de C.E.S., ont été testées sur plusieurs années. Une analyse économique de ces techniques expérimentales, par le biais de l'approche coûts-avantages, est alors établie. Les résultats obtenus sont marqués essentiellement soit par une très grande divergence, soit par une contradiction mettant ainsi en cause l'approche adoptée. Ceci est dû essentiellement à un certain nombre de limites reprochées à l'application de cette approche, on peut citer :

❶ Les principaux critères adoptés lors de l'application de cette approche sont le ratio avantages/coûts et le taux de rentabilité interne. Néanmoins, ces critères d'évaluation ne sont pas toujours plus pertinents pour les agriculteurs (intéressés par cet investissement) que les critères des rendements et de productivité. Ceci est dû au fait que l'estimation des paramètres de calcul des critères de rentabilité est très difficile. En effet, certaines valeurs surtout de l'output attendu de cet investissement restent délicatement appréciables **(Bachta M.S., 1993).** Ce manque d'information dû au manque de suivi et de mesures, oblige parfois les évaluateurs à faire des suppositions qui ne sont pas partout valables et donc l'évaluation reste hypothétique.

❷ Dans une telle analyse coûts-avantages, doit-on retenir la totalité des conséquences (coûts et avantages) d'une action donnée? En théorie, la réponse est oui, puisque l'analyse coûts-avantages reposant sur un bilan des coûts et des avantages, ce dernier doit être exhaustif et reprendre toutes les conséquences d'une action, fussent-elles d'ordre élevé. L'omission d'un élément positif ou négatif peut évidemment changer le résultat de l'évaluation finale. En pratique, on est bien obligé de se contenter des conséquences de premier ordre, faute de quantification **(Faucheux S. et Noel J.F., 1995).**

❸ Doit-on généraliser à un niveau national, des résultats expérimentaux conduits sur un ou deux sites, et sur des types d'aménagement bien spécifiques? La réponse est bien sûr non, surtout si on sait bien que ces types d'aménagements varient du nord au sud suivant plusieurs conditions pédoclimatiques, historiques, etc.

❹ Enfin, limiter l'analyse coûts-avantages a une simple comparaison de la situation avec et sans projet est-elle suffisante pour déterminer la rentabilité de celui-ci? La réponse est non, étant donné que cette rentabilité dépend d'un certain nombre de facteurs externes à savoir le système de production à adopter, la valeur ajoutée des productions et les conditions climatiques. Par conséquent, il serait très difficile de séparer les effets induits par le projet (aménagement de C.E.S.) et ceux qui sont induits par ces autres facteurs (système de production, conditions climatiques, compétence du centre de décision...).

La présence de ces problèmes nous a conduit à choisir une autre méthodologie plus originale basée sur l'utilisation d'un simulateur agronomique de croissance de plantes et d'une maquette économique de programmation linéaire qui est plus adaptée pour traiter ce type d'aspects.

3/ La modélisation bio-économique : *définition et critique*

Comme nous l'avons déjà signalé, la démarche classique adopter pour évaluer l'efficacité et l'impact des aménagements de C.E.S. repose généralement soit sur l'approche économétrique, issue de la convergence de l'inférence statistique et de la théorie économique, soit sur l'approche coûts-avantages, manifestant son appartenance au courant de la théorie économique standard de type néoclassique et reposant sur des essais expérimentaux.

Cependant, ces approche présentent, comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, certaines limites, ce qui nous a conduit à utiliser une troisième approche basée sur la modélisation bio-économique. Cette approche couple l'emploi d'un simulateur agronomique de croissance de plante à un modèle d'optimisation économique (cf. fig.1: liaison E.P.I.C modèle économique). Elle repose sur l'utilisation de "fonction de production de l'ingénieur" à partir des modèles agronomiques. L'application de cette approche permet d'évaluer d'une part, les résultats concernant les rendements des cultures et la perte du sol due à l'érosion et, d'autre part, les effets à long terme des différentes techniques et travaux de conservation des eaux et du sol introduites dans l'exploitation aussi bien sur la diminution de l'érosion que sur les rendements des cultures.

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

Avec cette approche, notre objectif sera, d'une part, de reproduire l'environnement technico-économique de l'entité choisie et, d'autre part, d'évaluer l'effet de ce projet public de conservation des eaux et du sol, aussi bien sur les résultats économiques qu'environnementaux. Ceci pour deux raisons: d'une part, connaître les principaux changements introduits dans l'exploitation après la mise en place de ce projet, et d'autre part, proposer et concevoir un système d'aide à la décision qui soit approprié au choix des investissements futurs ainsi qu'à la détermination du meilleur système de production. Un tel système, optimal aussi bien du point de vue économique qu'environnementale, serait une solution érosive et dégageant en même temps un revenu acceptable et régulier.

Cependant, cette approche présente certains problèmes qui doivent être surmontés à savoir :
❶ La nécessité d'une très grande quantité d'informations et d'un nombre important de paramètres : pour une simulation fine de la réalité, une importante collecte de données agronomiques est nécessaire, qui permettra par la suite de caler et valider les modèles agronomiques;

❷ Le caractère très spécifique des études envisagés : la modélisation se fait au niveau des parcelles, qui, même si elles sont représentatives, ne constituent qu'un cas particulier. Cette spécificité devient encore plus forte si des caractéristiques environnementales sont étudiées.

Bien qu'elle présente ces problèmes, cette approche nous paraît méthodologiquement la mieux adaptée pour évaluer l'impact des travaux de C.E.S. ainsi que pour quantifier les "trades-offs" entre la rentabilité économique et l'efficacité environnementale de celui-ci.

II/ La modélisation bio-économique comme outil d'analyse

Avant de nous pencher sur les aspects spécifiques de la méthode retenue, nous effectuerons quelques considérations sur l'utilisation des modèles et leur importance dans l'analyse économique.

1/ Les modèles : *définition et spécificité*

"Les modèles sont des caractéristiques simplifiées de la réalité. Ce sont des outils très utilisés dans le cadre de l'analyse scientifique, surtout pour ceux qui ont commencé à prendre en compte le long terme dans leurs analyses afin que l'avenir ne soit pas hypothéqué" **(Tietenberg T.H., 1988).**

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

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

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

2/ Le modèle de simulation de croissance des plantes

A/ Définition et spécificité

"L'expression modèle de simulation signifie que le système se comporte comme une plante réelle, aux différents organes représentés, répondant à l'influence simultanée des divers paramètres constituant son environnement. Basé sur l'itération des résultats, le modèle simule ainsi le comportement réel d'une plante au cours du temps" **(Boussard J.M., Jacquet J. et Flichman G., 1987).**

Les modèles de simulation de croissance des plantes sont des méthodes purement agronomiques capables d'établir les rapports inputs-outputs en ce qui concerne la production végétale. Ces modèles, dans la mesure où ils peuvent fournir à l'économiste les résultats en terme de production, des différentes

combinaisons des facteurs de production, constituent un moyen très intéressant pour la construction de fonction de production d'ingénieur **(Flichman G., 1987).**

Classiquement, on retrouve plusieurs modèles de croissance des plantes utilisés dans des différentes parties du globe. Cependant, la spécificité de chacun de ces modèles est qu'elle concentre son attention sur des aspects bien déterminés. Nous retrouvons des modèles qui mesurent l'effet de l'érosion sur les rendements des cultures, d'autres qui mesurent l'effet du stress hydrique sur les rendements, d'autres qui permettent de prédire la percolation et le lessivage des pesticides et des nitrates et les effets de ceux-ci sur les rendements, etc.

B/ Choix du modèle

Théoriquement, on peut retrouver plusieurs modèles capable de mesurer l'effet du sol, du climat et des pratiques culturales sur l'érosion et leurs effets sur les rendements des cultures, mais quand on passe à la pratique, rares sont celles qui sont applicables, soit il y ait un problème de manque d'informations indispensables pour son fonctionnement, soit il ne sont applicable que dans des zones de climat spécifique. Ici, nous avons retenu deux modèles que nous allons décrire.

❶ **C.R.E.A.M.S.**
C.R.E.A.M.S, Chemicals Run off and Erosion from Agricultural Management Systems est un modèle qui a été développé dans les pays de climat "tempérés" pour simuler l'effet de l'érosion **(Haith D.A., 1987).**

❷ **E.P.I.C.**
E.P.I.C., Erosion Productivity Impact Calculator est un modèle développé par l'ASDA-ARS de Temple (USA), pour simuler les effets du sol, du climat, des pratiques et des rotations culturales sur l'érosion du sol, puis l'effet à long terme de celui-ci sur le rendement des cultures **(CABELGUENNE M., 1995).** L'originalité du modèle E.P.I.C., c'est sa capacité à intégrer divers aspects en même temps. En effet, c'est un modèle pluri-espèce et pluri-annuel, à pas de temps journalier.

Pour notre travail, nous avons choisi le modèle E.P.I.C. et non le modèle C.R.E.A.M.S. Les principales critiques que l'on puisse apporter à ce dernier type du modèle, au vu des présentations succinctes qui ont été obtenues, est qu'il concentre toute son attention, d'une part, sur un aspect à savoir la mesure de l'érosion causée par le système d'aménagement en agriculture et, d'autre part, sur des sols et des climats "tempérés".

Le modèle E.P.I.C. permet d'estimer le rendement de différentes cultures en fonction des conditions agro-écologiques, des techniques utilisées, des travaux réalisés et des rotations considérées. Actuellement, son application a été élargie à d'autres préoccupations plus ou moins importantes, en fonction des objectifs visés, à savoir le niveau de percolation d'azote dans le sol.

Sur le plan agronomique, l'utilisation du modèle E.P.I.C. permet de simuler dans le temps la succession des cultures sur une même parcelle, par conséquent de prévoir l'état du sol en terme d'évolution du stock d'eau et des éléments fertilisants. Par contre, sur le plan économique, ce modèle permet de tester les différents scénarios agronomiques et donc de déterminer le scénario le plus rentable dans chaque parcelle, sous réserve d'intégrer le maximum de faits connus concernant les interactions entre variables et d'avoir étalonné ce modèle sur un éventail de situations assez large **(Flichman G., 1995).**

Selon **Putman et Dyke** (1987), EPIC est un modèle sophistiqué de fonction de production qui simule l'interaction entre le processus du sol, de la plante et de la conduite de cultures dans la production agricole. En effet, il permet de simuler la croissance d'environ 70 espèces végétales en fonction, d'une part, des conditions pédologiques et climatiques des régions considérées et, d'autre part, des variables

spécifiques de chaque culture ainsi que des itinéraires techniques employés sur le terrain. C'est ainsi que, partant d'une série de contraintes physiques, le modèle optimise (en terme technique et économique) le rendement agronomique des diverses cultures. "E.P.I.C. est donc une vraie fonction de production. Cela veut dire que les rendements obtenus, moyennant l'utilisation d'E.P.I.C., sont l'optimisation du point de vue agronomique"**(Vicien C., 1989).**

Dans le cadre de cette recherche, l'application de ce type de modèle a pour objectif d'envisager, d'une part, les résultats concernant les rendements des cultures et la perte du sol due à l'érosion et, d'autre part, les effets à long terme des différentes techniques et travaux de conservation des eaux et du sol introduites dans l'exploitation aussi bien sur la diminution de l'érosion que sur les rendements des cultures.

Comme le signale **C. Vicien** en 1989, "ce type de modèle de simulation peut être employé pour l'évaluation des différents systèmes de production agricole, pour l'estimation des résultats des diverses techniques culturales, pour la prédiction des rendements dans différentes régions, pour la mesure de la dégradation du sol à cause de l'érosion et, enfin, pour l'évaluation des résultats techniques en fonction des scénarios probables de politique agricole".

3/ Le modèle de programmation mathématique: *un modèle multicritère, multipériodique et récursif*

A/ Définition et spécificité

D'une façon sommaire, la programmation mathématique est un outil qui permet d'obtenir la combinaison optimale entre différentes activités soumises à diverses contraintes et concourant à la réalisation d'un objectif donné. Un cas particulier de cette démarche, la programmation linéaire, traduit les situations pouvant être représentées par des objectifs et des contraintes linéaires **(Boussard J.M., 1988).**

"La programmation linéaire est un instrument particulièrement bien adapté aux problèmes qui se posent dans l'activité agricole" **(Boussard J.M. et Daudin J.J., 1988).** Cet outil mathématique permet la résolution des problèmes dans lesquels une fonction d'utilité doit être optimisée (maximisée ou minimisée) sous un certain nombre de contraintes, techniques, financières, économiques, politiques, environnementales et de risque (variabilité des rendements et incertitude sur le niveau des prix).

Algébriquement, un modèle de programmation linéaire se présente sous la forme **(Boussard J.M., 1987):**

$$\text{Max (Min)} \quad F = \sum X.B$$
$$\text{tel que:} \quad \sum aX \leq b$$
$$X \geq 0$$

Où **F** représente la fonction objectif à optimiser , **B** le bénéfice ou le coût de chaque activité (selon qu'on maximise ou minimise la valeur de la fonction objectif), **a** les coefficients techniques correspondant aux besoins en ressources ou en intrants, **b** les disponibilités en ressources, et **X** une variable dont la valeur est déterminée de manière endogène comme résultat de la résolution mathématique, représentant le niveau optimal d'intensité sous contrainte de chaque activité.

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

Pour notre travail, l'utilisation **descriptive** (positive) nous semble beaucoup plus appropriée. L'objectif de ce modèle descriptif est de reproduire la situation actuelle en incorporant tous les outils analytiques, et de là, on fait des simulations afin d'estimer l'importance des travaux de conservation des eaux et du sol, sur la limitation de l'érosion et par conséquent sur l'avenir de l'exploitation étudiée.

En outre, étant donné que notre recherche ne s'intéresse pas à classifier et à ordonner les solutions alternatives en fonction d'un critère unique, mais plutôt de trouver un compromis entre différents objectifs, nous utiliserons une méthode de programmation mathématique qui permet d'aborder ce problème à critères multiples. Cette méthode s'appelle **la programmation multiobjectif ou multicritère.**

Par ailleurs, afin de mener une meilleure analyse qui prenne en considération, d'une part, le changement des effectifs et de régime alimentaire qui se produisent au fil des années et, d'autre part, l'évolution des investissements, nous proposons un modèle **multipériodique récursive**.

La dimension **multipériodique** signifie que, chaque année, on optimise le revenu des trois années à venir (on a appelé ces 3 ans: horizon de planification) étant donné que le renouvellement des brebis à partir des agnelles s'établit sur 36 mois. Avec cette dimension, on part d'une situation initiale et on choisit des plans de production pour les années à venir en tenant compte de toute l'information disponible sur le futur.

La dimension **récursive** permet de prendre en compte les résultats de la première année de l'horizon de planification comme données de départ de la première année du nouvel horizon de planification. "Un modèle récursif est une séquence des problèmes d'optimisation dans laquelle un ou plusieurs paramètres ou coefficients de n'importe quel problème dépendent fonctionnellement de la variable optimale du précèdent membre de la séquence" **(Day, 1963).**

B/ La programmation multicritère (PMC)

a/ Objet, limite et formulation générale

Pendant longtemps, la prise de décision en agriculture a été supposée, basée sur l'hypothèse d'optimisation d'un objectif unique qui est souvent lié à un critère du résultat financier ou économique de l'exploitation (valeur ajouté, marge brute,...). Cependant, en réalité l'agriculture est caractérisée par la multitude de critères à prendre en considération. En effet, le décideur est confronté à un problème de choix de la décision optimale qui dépend de plusieurs critères et qui répond souvent à des objectifs multiples. Le problème de prise de décision devient plus complexe si ses objectifs sont conflictuels.

La conciliation entre ces objectifs multiples est rendue aujourd'hui possible grâce au développement, depuis les années soixante dix, d'un ensemble des méthodes multicritères d'aide à la décision. Ces méthodes intègrent, en les pondérant, plusieurs critères quantifiables (monétaires et autres) ou non quantifiables (satisfaction des usagers, qualité de vie...). Leur mérite réside dans le refus de réduire une réalité complexe à un seul type de variable. Leurs limites tiennent au fait que le choix préalable des variables, la sélection des critères d'évaluation et leur pondération prédéterminent en grande partie les résultats. En revanche, le fait de déboucher sur une option et non sur une décision , exprime une réalité profonde : il relève que le choix final est toujours d'ordre politique et ne saurait découler de considérations exclusivement économiques. Parmi ces méthodes, nous pouvons citer la programmation multiobjectif (PMO) appelée aussi la programmation multicritère (PMC).

La programmation multicritère est apparue pour la première fois en 1972 afin de pallier les insuffisances des méthodes de programmation conventionnelle traditionnelles qui supposent l'existence de trois éléments uniques à savoir:

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

Ces méthodes conventionnelles, bien qu'elles soient correctes du point de vue logique, ne reflètent pas les décisions réelles, vu que les centres de décision ne cherchent pas à classer les alternatives en fonction d'un critère unique, mais plutôt en fonction de plusieurs critères tels que maximiser les bénéfices, minimiser les pertes, maximiser la croissance, etc.

Actuellement, les méthodes de programmation multicritère, en se basant sur la théorie d'optimisation parétienne, ont essayé d'élargir leur champ d'application à des problèmes à décideurs multiples. Cet élargissement montre le passage d'une méthode recherchant la meilleure modélisation possible des critères multiples à une méthode cherchant la meilleure modélisation possible des processus de décision **(Simos J., 1989).**

Algébriquement, la formulation d'un programme linéaire multicritère se traduit par:

Max: $F = \sum WqZq$

Tel que: $Zq = \sum Cqj.Xqj$

Sous contraintes:

$Wq \geq 0;$ pour i = 1....., m.
$\sum Aqij \leq Bqi;$ pour j = 1....., n.
$Xqj \geq 0.$

Dans laquelle:

Zq : fonction objectif ;
Xqi : le niveau de l'activité j
Cqj : marge brute (degré d'érosion,.....) d'une unité de l'activité j.
Aqij: la quantité de ressource i nécessaire pour produire une unité de l'activité j.
Bqj : la quantité de ressource i disponible.
Wq : coefficient de pondération avec:
$W1/W2 = Z^*1(X)-Z^12(X)/Z^*2(X)-Z^21(X)$

$Z^*i(X)$: optimum lorsqu'on estime Zi.
$Z^12(X)$: valeur que prend Z2(X) lorsqu'on optimise Z1.
$Z^21(X)$: valeur que prend Z1(X) lorsqu'on optimise Z2.

Mathématiquement, la programmation multicritère peut se faire selon trois méthodes différentes, à savoir:
- Méthode des pondérations;
- Méthode des contraintes;
- Méthode NISE (*No Inferior Set Estimation*).

Dans le cadre de notre recherche, nous allons utiliser la méthode **NISE,** complétée par la méthode des compromis. Cette méthode consiste à combiner les objectifs en une seule fonction objectif et à chacun des objectifs, on associe un coefficient de pondération calculé à partir de la pente entre les deux points extrêmes efficients tirés de la matrice de *"pay off"*.

b/ Concepts clés de la programmation multicritère (PMC)

❶ ***Optimum de PARETO:*** La technique de programmation multicritère se donne pour but de déterminer l'ensemble des solutions qui ont la propriété suivante connu sous le nom de l'optimum de PARETO. Des solutions pour lesquelles il n'est plus possible d'améliorer la valeur d'un objectif (critère) sans être obligé de réduire celle de l'autre. En effet, puisque les objectifs peuvent être contradictoires, ils n'atteindront pas leur optimum au même point sur leur ensemble de définition. Vilfredo PARETO définie ce concept d'optimum comme suit :
"Nous dirons que les membres d'une collectivité jouissent, dans une certaine position, du maximum d'ophélimité, quant il est impossible de trouver un moyen de s'éloigner très peu de cette position, de telle sorte que l'ophélimité dont jouit chacun des individus de cette collectivité augmente ou diminue. C'est-à-dire que tout petit déplacement à partir de cette position a nécessairement pour effet d'augmenter l'ophélimité dont jouissent certains individus et de diminuer celles dont jouissent d'autres : d'être agréable aux uns, désagréable aux autres" **(Pareto V., cité par Sghaier M., 1995).**

❷ ***Trade off :*** se basant sur le principe d'optimalité, la programmation multicritère fait appel au concept de "trade off" entre critère. Il se définit comme étant la valeur du sacrifice marginal relatif à un critère correspondant au gain d'une unité d'un autre critère. En d'autres termes, on peut l'assimiler à la notion de coût d'opportunité.

❸ ***Matrice de Pay off:*** appelée aussi matrice de gain, consiste à optimiser chacun des objectifs séparément tout en calculant la valeur que prend l'autre objectif dans chacune des solutions optimales. Elle nous indique le point idéal et le point anti-idéal de chaque objectif ainsi que leurs intervalles de variation tout en facilitant le degré de conflit qui les caractérise **(Zekri S., Dridi N., Lara P., 1994).**

❹ ***Point idéal et point anti-idéal:*** le point idéal (anti-idéal) est un point dont les coordonnées sont représentées par la valeur optimale (anti-optimale) correspondant à chaque objectif. Ces points sont déterminés par les deux diagonales de la matrice de "Pay off". Lorsque les objectifs sont conflictuels, le point idéal correspond à une situation théorique qui est impossible à réaliser.

❺ ***La frontière des possibles***: c'est l'ensemble des solutions non dominées, ensemble des points efficients ou ensemble des solutions optimales au sens de PARETO entre lesquels les méthodes employées ne permettront pas de choisir. Certes le décideur, ou les décideurs, devront évidemment choisir, entre ces points, celui qui aura leur préférence. Le choix de ce point ne dépendra que de critères supplémentaires ou de jugements de valeur qui ne dépendent pas de la méthode utilisée.

C/ La programmation multipériodique-récursive

a/ Objet, limite et formulation générale

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

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

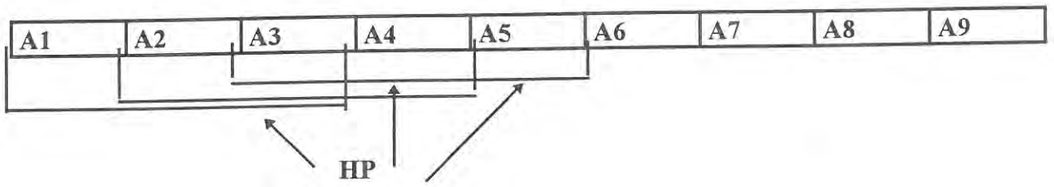
Cependant, comme nous sommes devant un problème de simulation multipériodique, il serait nécessaire de trouver un moyen capable de pouvoir comparer les bénéfices et les coûts d'une période avec ceux des autres périodes. Un moyen qui permet de ramener ces coûts et ces bénéfices à une base de comparaison .Cette base peut être trouvée par le biais du taux d'actualisation.

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

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

L'application de ce type des modèles permet de prendre en compte divers types "d'équations de récursivité", autres que celles utilisées pour faire le transfert d'un horizon à un autre. Parmi ces équations, on peut donner l'exemple des investissements. Pour ces types d'équation et sur la base des résultats du précédent horizon, le modèle permet d'appréhender les possibilités d'investissement tout en fixant le type et le montant de ces investissements. Ces modèles permettent aussi de redéfinir certains prix en rapport avec le niveau de production du précédent horizon.

Schématiquement, un modèle de programmation multipériodique récursive peut être représenté comme suit:



Avec:

A : années de simulation.

HP: horizon de planification: Pour le présent travail, nous avons choisi un horizon de planification triennal. Cependant, il faut noter que HP1, HP2, HP3 ne signifie pas horizon de planification n° 1, n°2, ..., mais première année de l'horizon de planification (HP1), 2ème année, 3 ème année.

Avec cette dimension, on aura la possibilité de changer les hypothèses de départ chaque fois qu'il est nécessaire. Par conséquent, les prévisions seront possibles et le risque se réduit.

D'une manière algébrique, la formulation de ce type de modèle se présente comme suit **(Boussard J.M., Flichman G., Boussemard J.PH., 1994):**

$$\text{Max} : E(Uz) = [E(z) - f \cdot I] / (1+\delta)^a$$

Avec:

$$E(z) = \sum[X_{i,a} \cdot E(Y_{in}) \cdot E(P_{ij}) - X_{i,a} \cdot C_i]$$

E(Uz): utilité espérée;
E(z) : revenu global espéré;
$X_{i,a}$: niveau de l'activité i dans la solution par an;
$E(Y_{in})$: espérance du rendement de l'activité i sur les états de nature n;

$E(P_{ij})$: espérance du prix de l'activité i sur les états de nature j;
C_i: coûts variables des activités;
I : la somme des déviations négatives;
f : coefficient d'aversion au risque;
a : années;
δ : taux d'actualisation.

b/ Concepts clés de la programmation multipériodique-récursive

❶ *Taux d'actualisation* : l'actualisation se définit comme une méthode de calcul économique qui permet de comparer des sommes d'argent présentes à des sommes futures et réciproquement. En effet, deux sommes de même montant, mais à des dates différentes, ne sont pas considérées en général comme identiques. Il existe une préférence temporelle qui fait que les agents économiques préfèrent une somme d'argent actuelle à la même somme au futur. Les raisons psychologiques de cette préférence sont soit l'impatience des agents, soit l'incertitude au sujet de l'avenir, soit encore pour les individus le risque de leur mort dans un avenir plus au moins éloigné, soit enfin la décroissance de l'utilité marginale.

Ces éléments expliquent sommairement l'usage dans la théorie économique d'un taux d'actualisation positif, dont l'une des caractéristiques principales est de déprécier les valeurs futures par rapport aux valeurs présentes.

Dire qu'un agent a un taux d'actualisation de i, c'est dire qu'il lui est indifférent de posséder 1 franc aujourd'hui ou (1+i) francs dans un an et $(1+i)^n$ francs dans n années.

Dans le cas des ressources naturelles, le choix d'un taux d'actualisation a une incidence particulière sur le taux d'exploitation des ressources. En effet, la question fondamentale concernant ces ressources est de savoir décider quelle part consommer maintenant et quelle part réserver à la consommation future. On peut clairement percevoir de façon intuitive que cette décision sera influencée par les prix relatifs de la consommation présente et future, c'est-à-dire par le taux d'actualisation.

Concernant les ressources naturelles renouvelables, objet du présent travail, le choix du taux d'actualisation détermine le taux d'exploitation. En effet, il est possible dans certain cas que la ressource s'épuise et disparaisse purement et simplement si le taux d'actualisation est supérieur au taux maximal de croissance biologique du stock : c'est le phénomène de "l'épuisement optimal". De même aussi, un taux d'actualisation plus faible n'est pas aussi la meilleure solution. Le premier problème qui se pose est celui de savoir quels seraient les projets qui devraient en bénéficier. Deuxièmement, la demande des ressources naturelles va augmenter par suite de l'augmentation des investissements consécutifs aux choix d'un faible taux d'actualisation, entraînant une exploitation accrue des ressources naturelles. Enfin, un taux d'actualisation faible va rendre rentable un plus grand nombre de projets d'investissement dont certains risquent d'être très dommageables à l'environnement.

❷ *Valeur actuelle nette (VAN) et taux de rentabilité interne (TRI):*

Etant donné que l'un de nos objectif par l'utilisation d'un modèle multipériodique consiste à l'évaluation de l'impact économique à court et long terme des aménagements C.E.S., il serait intéressant de définir ces deux critères d'évaluation financiers. Des critères qui expriment le point de vue du projet en tant que centre de décision autonome ou celui des propriétaires des capitaux, véritables décideurs dans le projet. Le calcul de ces deux critères va nous permettre de déterminer la rentabilité financière de ces aménagements. Le choix a été fait sur des critères financiers puisque nous allons mesurer l'impact du projet seulement au niveau de la ferme (effet pour un seul acteur).

* *Valeur actuelle nette (VAN)* : appelée aussi le flux net de trésorerie actualisé (FNTA). Il constitue l'une des bases fondamentales des indicateurs d'évaluation les plus sophistiqués qu'on peut trouver actuellement. Ces flux de trésorerie sont représentés par tous les mouvements de fonds qui affectent le projet, au moment où ils interviennent effectivement **(Houdayer R., 1993).**

Les principales opérations nécessaires à sa réalisation sont :

- Déterminer avec précision la situation de référence et le projet;
- Recenser les flux de trésorerie engendrés par le projet par rapport à la situation de référence.

Sa formulation générale

$$VAN = FNTA = \sum F_n / (1+i)^n = \sum -I_n + C_n / (1+i)^n + R / (1+i)^n$$

Avec:

C_n : la marge brute d'autofinancement (MBA) de l'année n.

I_n : l'investissement de l'année n avec une durée d'amortissement de 10 ans.

i : le taux d'actualisation

F_n : le flux net de trésorerie de l'année n.

R : valeurs résiduelles

* *Taux de rentabilité interne (TRI)* : appelé aussi le taux de rendement interne ou *internal rate of return.* C'est le taux d'actualisation qui rend nul le flux net de trésorerie actualisé. Il correspond au taux maximum auquel il est possible d'emprunter (sous-entendu, sans que l'effet de levier soit négatif). Il indique le taux d'intérêt effectif (et non pas nominal) d'un placement du même montant que l'investissement et rapportant les différentes marges sur la période. Pour une obligation par exemple, ceci correspond aux taux actuel brut **(Houdayer R., 1993).**

Formulation générale

$$\sum F_n / (1+i)^n = \sum -I_n + C_n / (1+i)^n + R / (1+i)^n = 0$$

III/ Conclusion

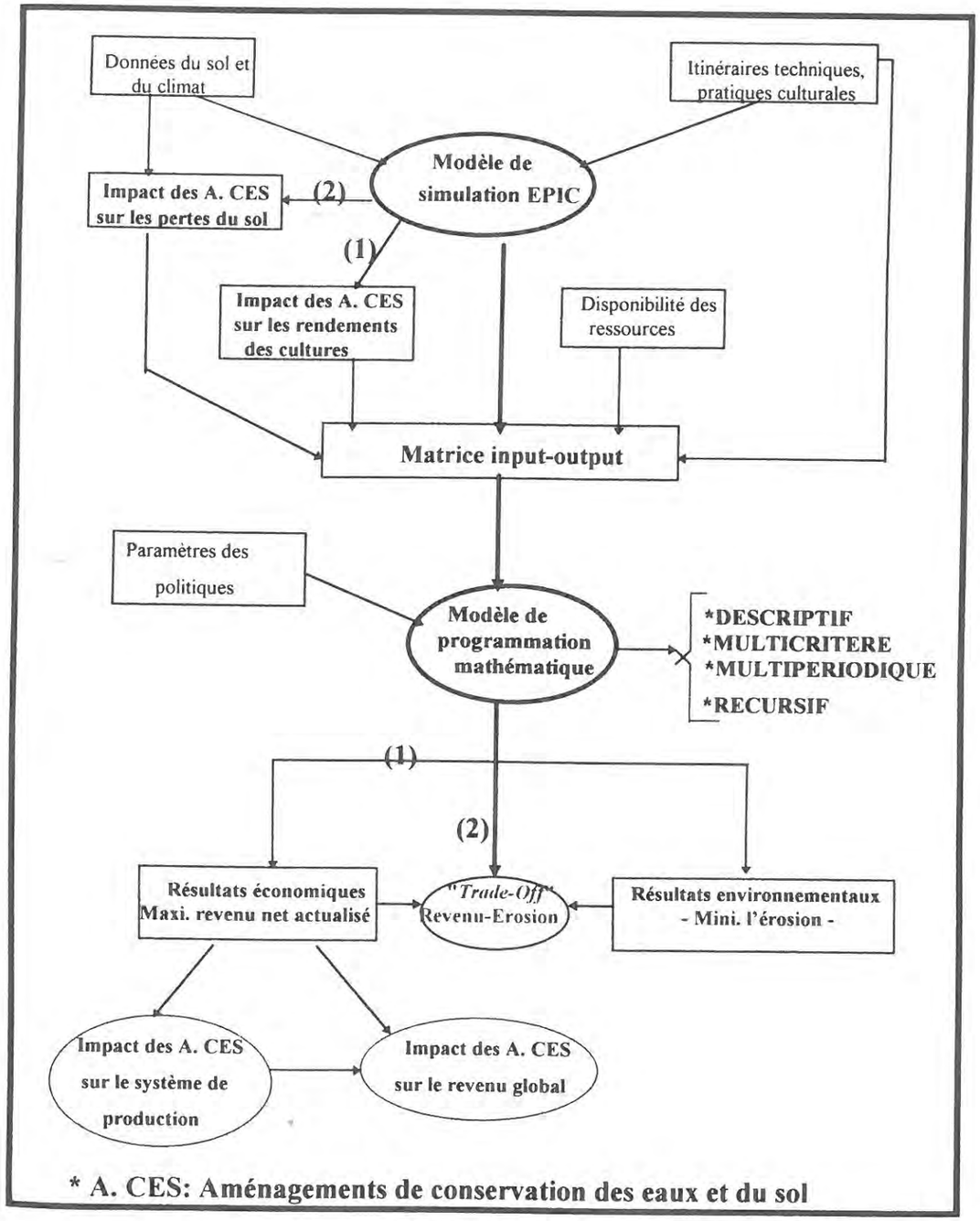
Nous avons passé en revue les différentes approches pour l'évaluation des effets des travaux de conservation des eaux et du sol. Trois types d'analyses semblent prévaloir parmi les économistes et les experts internationaux.

La première, à dominante économétrique, basée sur des fonctions de production de type "économistes" pour évaluer l'efficacité des différents travaux de C.E.S. d'un échantillon choisi à l'avance.

La deuxième, à base des méthodes "coût-avantage", cherchant à obtenir une évaluation monétaire des gains ou des pertes induites par ces travaux de conservation des eaux et du sol.

La dernière se base sur la combinaison d'un modèle de simulation de croissance des plantes et d'un modèle économique de programmation mathématique. Cette dernière méthode, comme nous l'avons déjà expliqué, nous paraît méthodologiquement la mieux adaptée pour répondre à l'interrogation de notre problématique. Son utilisation pour le présent travail peut se résumer en un schéma (Fig. n°2.1).

Fig. n°2.1: Liaison E.P.I.C. - modèle économique



Source: Elaboration personnelle à partir de BOUSSEMART et al. 94

Deuxième partie

Application du modèle bio-économique

Troisième Chapitre
Caractérisation du domaine d'étude

Section I : Cadre d'étude

I/ Introduction

Le besoin de centrer l'analyse au niveau de l'exploitation agricole nous amène à restreindre l'étude à un cas bien déterminé, sans que cela implique pour autant une perte de représentativité du travail et en sachant toujours que les résultats obtenus restent spécifiques à l'environnement agricole de l'entité à étudier.

Cette tâche est partant très délicate malgré la relative homogénéité des types d'aménagements dans toutes les régions. En effet, il faut se limiter à une exploitation où l'intervention de l'Etat par ces travaux de conservation est importante et où l'accès à l'information ne sera pas contraignant afin de bien déceler les rôles qui leur sont assignés.

Le cadre retenu dans le présent travail est la ferme "Sawaf" d'une superficie de 1600 ha, elle relève territorialement de la délégation de "Sawaf" du gouvernerat de Zaghouan (50 km de Tunis). Cette ferme a été choisie par le Ministère de l'Agriculture dans le cadre du développement et de l'amélioration de la productivité des zones semi-arides par les travaux de C.E.S. comme site d'expérimentation et de démonstration des mesures anti-érosives.

Pour pouvoir déceler l'importance et le rôle des travaux réalisés, il faut d'abord commencer par une présentation générale de la ferme et de sa situation technico-économique, ensuite lancer quelques considérations sur les principales composantes de ces travaux.

II/ Monographie de la ferme

1/Cadre climatique

* Pluviométrie

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

* Température

Les valeurs des températures montrent une forte irrégularité inter-annuelle ainsi qu'inter-saisonnière, en effet, les écarts relevés sont de l'ordre de 35°c. Ceci nous permet de distinguer :
- Une saison douce qui commence en septembre et finit en mai;
- Une saison sèche et chaude qui comprend généralement la période d'été.

* Vent

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

2/ Ressources en eaux

La ferme "Sawaf" dispose de:
* 3 lacs collinaires à différentes capacités, dont un seulement assure l'abreuvage continu du cheptel ovin, notamment en été, les deux autres lacs sont mal alimentés en eaux de pluie pour résister au dessèchement.
* 1 réservoir d'eau alimenté par des conduites externes provenant, notamment des forages (Association d'Intérêt Collectif). Ce réservoir est utilisé fréquemment pour l'irrigation des arbustes fourrager, pour l'abreuvage du cheptel ovin et aussi pour la consommation humaine.

3/ Ressources en sol

On distingue deux types de sol:
- Sols sableux légers menacés par l'érosion hydrique et éolienne;
- Sols argilo-sablonneux profonds présentant l'avantage d'emmagasiner les eaux de pluie.

4/ Main-d'oeuvre

La ferme dispose de deux types de main-d'oeuvre:
- Main-d'oeuvre permanente : composée de sept ouvriers au total dont deux sont conducteurs d'engins
- Main-d'oeuvre occasionnelle: vu le caractère saisonnier des activités agricoles, la ferme a recours généralement à la main-d'oeuvre occasionnelle pour accomplir certains travaux tels que les chantiers de récolte des céréales et du foin, les chantiers de plantation des arbustes fourragers.

Avec l'implantation du projet le nombre du jours de travail a augmenté. Il a passé, en moyen, de 4800 jours avant projet à 8159 jours après projet soit 69% d'augmentation. Cette augmentation s'effectue de deux manières:

* Directement: les chantiers implantés dans la ferme au moment de l'exécution des travaux proposés par le projet favorisent la création de l'emploi et contribuent par conséquent à la résolution du problème du chômage.
* Indirectement: les aménagements proposés par le projet engendrent, au niveau de la ferme, une diversification des activités créant ainsi des emplois supplémentaires.

Tableau n°2 : Evolution du nombre de jours de travail (unité : jours)

	Avant projet					Après projet					
	85/86	86/87	87/88	88/89	Moy.	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	Moy.
Total des jours	4467	5619,5	4074	5043	4800	9693,5	8594	6961,5	6876	8671	8159
% d'évolution	-31	+25	-27	+23	-	+92	-11	-18	-1,2	+26	-

Source: Rapports d'activités (1985-1994).

III / Situation technico-économique : analyse et diagnostic

Quantifier et valoriser l'impact de l'intervention de l'Etat par les aménagements de CES sur le mode de développement de l'exploitation Sawaf constitue la question centrale de notre réflexion. De la réponse dépend la pertinence, d'une part, de nos prévisions par rapport à l'offre et, d'autre part, des avis que nous porterons sur les effets possibles d'une politique donnée ainsi que de notre diagnostic sur la situation d'un système de production agricole quelconque, en particulier du point de vue de son efficacité et de sa productivité.

En ce qui concerne le diagnostic du système de production, une bonne connaissance de celui-ci et de son évolution au fil des années relève d'une grande utilité étant donné qu'elle permet, d'une part, de déceler la particularité de celui-ci et, d'autre part, de dégager les diverses améliorations ainsi observées au niveau de l'entreprise objet d'étude.

Cependant, le diagnostic d'un tel système de production agricole nécessite d'abord, une bonne compréhension de son mode de fonctionnement et, ensuite, un suivi rapproché de ses résultats économiques sur une longue période.

A cet égard, et afin de bien analyser le système de production de l'entité choisie, il serait intéressent de lancer tout d'abord quelques considérations sur ses principales activités et ensuite d'essayer d'analyser et d'interpréter l'évolution de ses résultats.

1/Les activités productives

Comme pour toute exploitation de polyculture-élevage, le système de production de la ferme Sawaf repose sur la combinaison de deux activités principales orientées essentiellement vers le marché: l'élevage ovin et la céréaliculture. Cependant, au vu de leur complexité et pour des besoins de l'analyse, nous allons étudier séparément ces deux activités malgré leur complémentarité.

A/ Production végétale

a/ Aptitude culturale et occupation du sol

L'analyse de l'évolution de l'occupation du sol marque une augmentation importante de la surface agricole utile qui passe de 1150 ha en 1982 à 1450 ha en 1994 soit 26% d'augmentation. Cette évolution est due essentiellement à une amélioration de la superficie inculte par l'introduction de nouvelles espèces fourragères et la plantation des arbustes fourragers.

Tableau n°3 : Evolution de l'occupation du sol (unité: hectare)

Année	Avant projet 1982-1988		Intermédiaire 1989-1991		Après projet 1992-1994	
Composantes	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Surface agricole totale "S.A.T"	1600	100	1600	100	1600	100
Surface agricole utile "S.A.U"	1150	71	1390	86	1450	90
Surface agricole cultivée "S.A.C"	1150	_	1280	_	1340	_
Terres labourables	1150	_	970	_	855	_
Terres assolées	1110	_	930	_	800	_
Terres non assolées	40	_	40	_	55	_
Parcours améliorés	0	_	420	_	595	_
Terres incultes	450	29	210	14	150	10

Source: Rapports d'activités (1982-1994).

b/ Rotation et assolement

L'examen du tableau d'évolution du plan d'assolement et de rotation de la ferme Sawaf montre le passage d'un assolement du type céréales-jachères à un autre du type médicago-ceréales qui s'adapte aux conditions climatiques difficiles et aux sols peu fertiles. Le choix a été fait sur le médicago, étant donné qu'il offre la possibilité d'être mis en double exploitation comme pâturage direct avec une production de semence.

c/ Le critère de productivité: les rendements

Comme pour toutes les exploitations semi-arides, les rendements de toutes les cultures sont très fluctuants . Cette fluctuation est liée essentiellement aux conditions climatiques et, en particulier, à la pluviométrie qui sont très variables. Cependant, l'analyse du tableau d'évolution des rendements montre une légère amélioration des rendements pour les cultures d'orge et d'avoine. Cette amélioration peut être expliquée par:

* La meilleure valorisation des faibles quantités de pluies et la reconstitution progressive de la couche arable induite par les aménagements conservateurs des eaux et du sol;
* L'introduction du médicago dans l'assolement qui se traduit par l'enrichissement du sol en azote et en matière organique;
* L'utilisation plus intensive des intrants;
* La réalisation des opérations culturales à temps grâce à la disponibilité du matériel.

Tableau n°4 : Evolution des rendements (unité:Qx/ha)

	Avant projet				Après projet					
Campagne	**86/87**	**87/88**	**88/89**	**Moy.**	**89/90**	**90/91**	**91/92**	**92/93**	**93/94**	**Moy.**
Pluviométrie	400,2	187,3	219,9	**269,1**	500,2	325,1	515,8	377	191,5	**381,92**
Orge	23	1	-	**12**	15	13,23	12	10,22	3,5	**10,8**
Avoine grain	21	2	5	**9,3**	32	8,18	13	12,41	5,2	**13**
Blé dur	12,5	7	10	**9,8**	16	20	15,5	13,5	20	**18**

Source: Rapports d'activités (1986-1994).

B/ Production animale

a/ Effectif

Le démarrage de la ferme Sawaf, comme nous l'avons déjà signalé, était basé sur des combinaisons culturales du type céréales-jachères en association avec un élevage extensif sur les résidus de cultures. Cependant, l'augmentation des disponibilités fourragères et l'amélioration de la qualité des fourrages et des conduites sanitaires ont donné naissance à une augmentation de l'effectif de la race barbarine qui est passée de 900 têtes en 1987 à 2088 en 1994, soit 132% d'augmentation et à l'introduction d'une nouvelle race (queue fine).

Tableau n°5 : Evolution de l'effectif ovin (unité :tête)

	Avant projet				Après projet					
Année	**31/8/87**	**31/8/88**	**31/8/89**	**Moy.**	**31/8/90**	**31/8/91**	**31/8/92**	**31/8/93**	**31/8/94**	**Moy.**
Barbarine	900	1051	1280	**1077**	1372	1665	1684	1950	2088	**1751**
Queue fine	-	-	-	-	-	-	202	227	248	**259**
Total	900	1051	1280	**1077**	1372	1665	1886	2177	2336	**2000**

Source: Rapports d'activités (1987-1994).

b/ Les paramètres de reproduction

Grossièrement, les paramètres de reproduction ont subi une légère amélioration au fil des années:

* Les taux de fertilité et de prolificité, qui mesurent respectivement l'aptitude des brebis à être gestantes et le nombre des naissances gémellaires, ont augmenté surtout pendant la campagne 1991/92. Ceci peut être expliqué par l'amélioration de la conduite alimentaire et sanitaire en particulier au cours de la période de préparation à la lutte.
* Les taux de mortalité et d'avortement sont en baisse nette. Ceci peut être dû aussi à l'amélioration des mesures sanitaires et prophylactiques et à une meilleure condition alimentaire.

Tableau n°6 : Evolution des paramètres de reproduction (unité: %)

	Avant projet					Après projet					
Campagne	**85/86**	**86/87**	**87/88**	**88/89**	**Moy.**	**89/90**	**90/91**	**91/92**	**92/93**	**93/94**	**Moy.**
Taux de prolificité	114,6	113,4	116,6	112,4	**114,25**	113,2	115,46	117,36	114,71	130,8	**118,31**
Taux de réforme	10	11,2	12,5	10,5	**11,05**	11,2	12	13	15,5	6,75	**11,39**
Taux de mortalité	2,02	3,03	1,8	1,03	**1,97**	3,2	2,66	1,09	1,02	1,12	**1,81**
Taux de fertilité	96,3	86,8	92,6	90	**91,24**	94,02	92,88	94,13	92,79	93,00	**93,35**

Source: Rapports d'activités (1986-1994)

2/ Les aspects économiques et financiers

Les tendances constatées d'après les tableaux d'évolution des résultats économiques conduisent à une amélioration de la situation économique et financière dont l'origine est inconnue. Cette amélioration touche essentiellement les marges brutes aussi bien végétales qu'animales. Cependant, puisque l'originalité de cette amélioration est inconnue, peut-on démontrer qu'elle est due aux travaux de conservation des eaux et du sol?

Tableau n°7 : Evolution des marges brutes végétales (unité : D.T.)

Campagne	**Produits Bruts**	**Charges opérationnelles**	**Marges brutes (D. courant)**	**Taux de croissance(%)**
1990-1991	29.273	20.268	9.005	-
1991-1992	58.725	26.491	32.234	+257
1992-1993	71.932	39.888	32.043	-3,2
1993-1994	17.107	92.072	-74.965	-333

Sources: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°8 : Evolution des marges brutes animales (unité : D.T.)

Campagne	**Produits Bruts**	**Charges opérationnelles**	**Marges brutes (D. courant)**	**Taux de croissance(%)**
1990-1991	113.860	48.682	65.178	-
1991-1992	128.283	52.879	75.404	+15
1992-1993	175.842	52.655	123.187	+63
1993-1994	115.318	36.459	78.459	-36

Sources: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°9 : Evolution du R.B.E. et du R.N.E. (unité: D.T.)

	Avant projet			Après projet					
Année	31/12/87	31/12/88	Moy.	31/12/89	31/12/90	31/12/91	31/12/92	31/12/93	Moy.
R.B.E.	56.123	-12.349	**21.887**	17.818	21.245	123.363	89.018	53494	60987
R.N.E. en D. courant	31.096	-21.865	**4615,5**	4.835	4.816	98.135	61.338	9.092	**35643**
R.N.E. en D. constant	31..096	-20.405	**5345,5**	4.188,88	3.917,01	74.028,76	43.827,23	6315,45	**26455**
T.C.(%)		-165		120	-6	1789	-40	-85	-

Sources: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Indications:

* R.B.E.: Résultat brut d'exploitation.
* R.N.E.: Résultat net d'exercice.
* D. courant: Dinars courant.
* D. constant: Dinars constant de 1987.
* T.C.: Taux de croissance du résultat net d'exercice

IV/ Conclusion

Sommairement, l'examen préliminaire du fonctionnement de l'entreprise, objet de la présente étude, nous a permis de dégager les deux conclusions suivantes:

* Les conditions édaphiques, géomorphologiques et hydroclimatiques de la ferme "Sawaf" sont favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène de l'érosion, notamment lors d'importantes averses. Ceci entraîne un approfondissement du réseau hydrographique et un entaillement profond du sol suivi par un lessivage des argiles et une perte des éléments minéraux par lixiviation .

* Le fonctionnement du système de production est en mutation, non pas vers une accumulation finale mais plutôt vers une accumulation partielle dans la mesure où certaines activités sécuritaires non rentables sont maintenues telles que la jachère.

A cet égard, deux questions fondamentales, inspirées de l'élément problématique, pourraient être posées:

** Les mesures de conservation des eaux et du sol introduites dans cette entreprise agricole sont-elles de nature à résoudre ce problème d'érosion et, par conséquent, à répondre à l'objectif primordial auquel elles sont assignées?*

** Quoi produire, par quelles techniques et en quelles quantités doit-on produire pour bien conduire cette entreprise et arriver, par là, à un système de production en accumulation totale acceptable par les responsables et capable de valoriser ces mesures de conservation?*

Section II: Les composantes du projet C.E.S.

I/ Introduction

La restauration des sols et la rétention des eaux demeurent la base de toute activité agricole dans cette zone où les facteurs climatiques, édaphiques et topographiques favorisent les processus d'érosion.

L'importance des travaux de restauration et de rétention se déduit non seulement de leurs actions conservatrices mais aussi de l'influence positive sur l'accroissement des rendements **(Lamary M., 1991).**

A cet égard, les responsables de la ferme "SAWAF" ont jugé nécessaire l'exécution des travaux de C.E.S. sur les parcelles. A partir de 1980, on assiste aux premiers aménagements à la ferme. Les réalisations jusqu'en 1989 se résument comme suit:

Tableau n°10 : Coût des travaux de C.E.S. réalisés entre 1980-1989 (unité : D.T)

Aménagement	Nombre	coût unitaire	coût total
Construction des banquettes	700 ha	250	175.000
Consolidation des ouvrages	400 ha	128,5	51.400
Construction des réserves sur pied	450 ha	120	54.000
Réalisation des lacs collinaires	3 lacs	2200	6.600
TOTAL	-	-	287.000

Source: élaboration personnelle à partir des rapports d'activités de la ferme.

Ces travaux de conservation ont été suivis par d'autres plus au moins importants envisagés par le nouveau projet, objet de ce travail. Ces nouveaux aménagements de C.E.S. qui ont la priorité dans ce programme d'intervention annuelle sont orientés essentiellement vers les travaux de consolidation des banquettes. Cette orientation peut être expliquée par deux raisons: réduire les charges relatives aux opérations d'entretien qui sont coûteuses et aussi créer un supplément en ressources alimentaires.

Tableau n°11 : Valeur actualisée des capitaux investis en C.E.S. après 1989 (unité:D.T)

	Construct. des banquettes	Consolidat. des ouvrages	Entretien des banquettes	Entretien des lacs collinaires	Bandes enherbées	Pistes agricoles	Total (1)	Total (2)
1990	1263	9.602	7.491	1.000	5.722	-	25.077	25.077
1991	-	10.373	6.354	-	1998	-	18.725	17.367
1992	-	1.957	3.053	2762	-	-	7.772	6.828
1993	-	1.203	2.623	-	439	1.291	5.556	4.745
1994	-	-	1.652	-	-	-	1.652	1.304
TOTAL	**1263**	**23.135**	**1.952**	**3.762**	**8.159**	**1.291**	**58.782**	**55.322**

Source: élaboration personnelle à partir des rapports d'activités de la ferme.

Indications:

(1): en dinar tunisien courant.

(2): en dinar tunisien constant de 1990.

II/ Objectifs et conception du projet

Face à la menace qui pèse sur les ressources naturelles de la ferme et dans le cadre de ce développement et de l'amélioration de la productivité par les travaux de C.E.S., l'Office de l'Elevage et des Pâturages

avec la collaboration de certains organismes spécialisés du Ministère de l'Agriculture (Direction C.E.S. et Direction Générale des Forêts) s'est lancé depuis 1989 dans un nouveau programme de C.E.S.

Les objectifs de ce programme de C.E.S. sont les suivants:
* La restauration des sols essentiellement par la construction des banquettes sur les terrains en pente et le labour suivant les courbes de niveau. Cette action permettant aussi une meilleure utilisation des faibles quantités de pluies;
* La rétention de l'eau et sa conservation afin de créer les réserves d'eau d'abreuvement pour les animaux. Cette action est assurée par la construction des lacs collinaires;
* L'amélioration des rendements des cultures par la meilleure valorisation des faibles quantités de pluies, et la reconstitution progressive de la couche arable induite par les aménagements conservatrices des eaux et du sol;
* L'amélioration pastorale par le semis d'espèce fourragères et la plantation d'arbustes fourragers, élément important pour le développement de l'élevage ovin.

III/ Les composantes du projet

1/ Travaux de conservation des eaux et du sol

A/ Construction des banquettes

Les banquettes sont de petites tabias en courbe de niveau d'environ 1 mètre de haut et 4 mètres de largeur, qui peuvent être manuelles ou mécaniques. Ces ouvrages jouent un double rôle, elles diminuent la vitesse de ruissellement et augmentent l'infiltration. La durée de vie de ces banquettes dépend de la pluviométrie, elle est de 20 ans en moyenne. Cette action a commencé dès le démarrage du programme avec un coût d'investissement qui est de l'ordre de 1263 DT au prix constant de 1990.

B/ Entretien des banquettes

L'opération consiste à construire des seuils en pierres sèches, en forme d'escalier sur les ravins qui progressent au profit du terrain et sur les portées endommagées des banquettes. Elle se base, essentiellement, sur l'entretien des banquettes non consolidées qui présentent des cassures isolées sur les parties opposées à l'accumulation des eaux.

C/ Consolidation des ouvrages

Il s'agit de la consolidation d'ouvrage par l'implantation d'atriplex sur les deux côtés, amont et aval des banquettes.

Le choix a porté sur l'atriplex: arbuste fourrager dont la période d'exploitation coïncide avec la présence des chaumes de céréales, cet arbuste doit être mis en défend pendant au moins deux années successives, pour qu'il réalise un taux de croissance suffisant. Cette action a commencé pendant la première année du programme (1990) pour se prolonger jusqu'à la dernière année (1993). Le coût global d'investissement au niveau de cette composante est de l'ordre de 21.611 DT au prix constant de 1990.

D/ Entretien des lacs collinaires

L'opération a concerné un seul lac, le plus menacé par l'érosion hydrique. L'action d'entretien a permis la construction d'un seuil en pierres sèches, en face de l'eau pour amortir son action érosive.

Le montant qui a été réservé à cette action atteint une valeur de 3.426 D.T. au prix constant de 1990.

E/ Bandes enherbées

C'est une autre action de conservation qui consiste à implanter une bande enherbée. Cette composante a aussi débuté dès la première année du projet et a nécessité un montant d'investissement de l'ordre de 7950 D.T. au prix constant de 1990.

2/ Amélioration pastorale et arbustes fourragers

Le programme d'amélioration pastorale vise la reconstitution du tapis végétal pour la protection des terres contre l'érosion et leur exploitation par l'utilisation des espèces fourragères. Ce programme consiste à l'installation des parcours naturels en vue d'augmenter la production fourragère et de fixer et protéger le sol.

Les espèces utilisées dans ces parcours sont essentiellement des arbustes fourragers tels que l'acacia, l'atriplex et le cactus inerme. Le rôle de ces espèces, comme nous l'avons déjà signalé, est de minimiser l'effet de l'érosion par la fixation du sol ainsi que d'assurer une réserve sur pieds. La durée de vie de ces espèces est estimées à 20 ans. Les montants des investissements attribués à ces composantes sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°12 : Montants des investissements en amélioration pastorale et arbustes fourragers

Année	Médicago	Sulla	Acacia	Cactus inerme	luzerne arbores.	Total en D. courant	Total en D. constant*
1990	5608	-	-	2784	5250	13642	13642,00
1991	8000	3366	10933	2734	-	25033	23217,79
1992	6435	-	6252	4470	1250	18407	16172,28
1993	-	-	-	-	-	-	-
Total	20046	3366	17185		6500	57082	53032,08

Source: élaboration personnelle à partir des rapports d'activités de la ferme.
Indications:
* Dinars constant de 1990

3/ Autres composantes

A côté des investissements concernant les aménagements C.E.S. et l'amélioration pastorale, on peut ajouter d'autre type d'investissement propres à la ferme et dont le montant s'élève à 225828,45 D.T. au prix constant de 1990. Ces investissements sont liés essentiellement à l'achat des matériaux, à la construction des bâtiments et à la vulgarisation.

Tableau n°13 : Montants des investissements en machinisme agricole, en bâtiments et en vulgarisation

Année	Machinisme agricole	Bâtiment	Démonstration et vulgarisation	Total en D. courant	Total en D. constant*
1990	58379	-	-	58379	58379,00
1991	41291	33769	-	75060	69617,20
1992	49482	11705	1135	62322	54755,75
1993	14370	11068	-	25438	21725,00
1994	14399	12632	-	27031	21351,50
Total	177921	69174	1135	248230	22588,45

Source: élaboration personnelle à partir des rapports d'activités de la ferme.
Indications:
* Dinars constant de 1990

IV/ Conclusion

Cette étude préliminaire des différentes actions et composantes du projet nous a permis de remarquer, d'une part, la grande diversité de celle-ci et, d'autre part, l'importance des investissements alloués aux travaux de C.E.S. constituant ainsi le support de ce projet. *Cependant, ces actions et ces composantes sont-elles en mesure de répondre à leurs objectifs primordiaux à savoir l'amélioration de la productivité, la protection des terres et la reconstitution de la fertilité?*

Quatrième chapitre
Le modèle bio-économique

Section I : Détermination des coefficients techniques

I/ Le modèle de simulation EPIC

1/ La construction d'un modèle de base

Bien que la construction d'un modèle soit un travail très complexe, la simulation parfaite de la réalité demeure irréalisable, certains modèles, essentiellement ceux de croissance des plantes, sont cependant parvenus à reproduire cette réalité en intégrant un grand nombre de facteurs et de cultures, aboutissant par conséquent à des résultats encourageants.

Dans le présent travail, sachant que le choix a porté sur le modèle EPIC, son application et sa construction peuvent nous permettre d'obtenir des données très diverses en fonction des objectifs visés. Cependant, faute de temps, nous n'allons envisager que les résultats concernant les rendements des cultures et la perte du sol due à l'érosion.

Pour cela, il a été indispensable de disposer de données très complètes et précises relatives au climat, au sol, aux itinéraires techniques, etc.

❶ **Le climat:** introduit dans notre modèle d'une manière très précise, il comporte les données journalières relatives à la température maximale et minimale, la radiation solaire, les précipitations et le vent, correspondant aux dix dernières années (1985-1994).

❷ **Le sol:** suite aux prélèvements et aux analyses que nous avons effectuées, nous avons fait en sorte que les données relatives au sol soient soigneusement introduites dans notre modèle. Ainsi, nous avons défini pour chaque horizon, la densité, la granulométrie, la quantité d'azote organique, de nitrate et de carbone organique, le PH, le complexe absorbant, la capacité au champ, le point de flétrissement, les résidus de culture et la présence de phosphore. L'érosion est mise en évidence par les pertes de sol d'origine hydrique et éolienne.

❸ **Les itinéraires techniques**: sont basés sur le déroulement dans le temps des travaux agricoles. Ainsi, sont pris en compte: les dates d'intervention, les travaux du sol et le matériel utilisé, les opérations phytosanitaires avec les doses employées, les fertilisations et les quantités d'azote et de phosphore appliquées, les cultures ensemencées.
❹ **Les paramètres physiologiques**: l'ensemble des paramètres décrivant le comportement des variétés culturales considérées compte tenu des conditions naturelles de la zone.

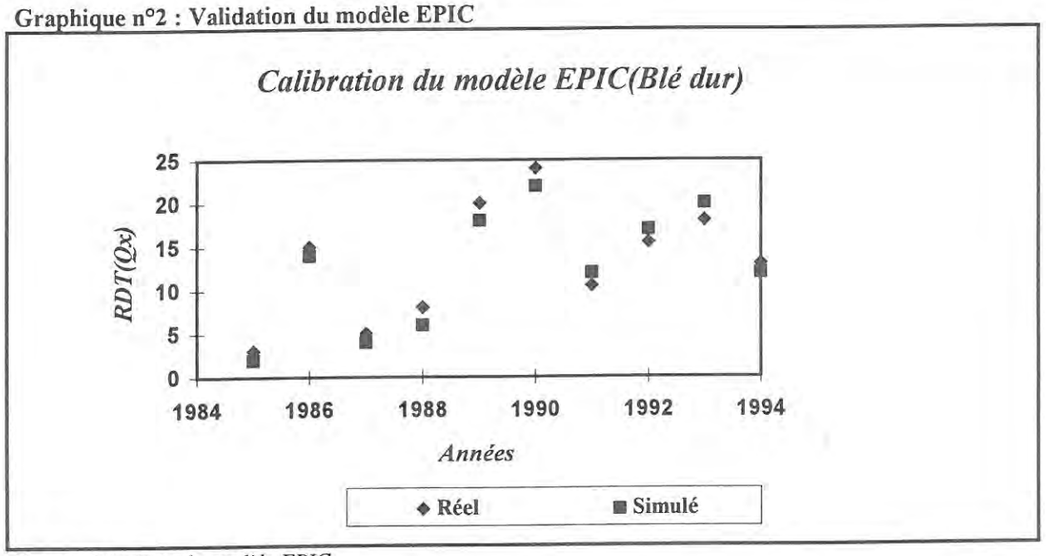
Après avoir introduit toutes ces données, il est possible d'avoir un modèle de base qui puisse nous permettre d'analyser l'évolution des rendements et de l'érosion en fonction des techniques culturales et des pratiques de conservation des eaux et du sol. Cependant, avant qu'on ne se penche sur l'utilisation du modèle, il serait intéressant d'essayer de le calibrer afin qu'il reproduise la réalité ou du moins qu'il s'en rapproche le plus possible.

2/ La validation du modèle EPIC

La validation consiste à simuler les pratiques culturales courantes et à comparer les résultats émanant de ces simulations à ceux réellement obtenus sur l'exploitation. Cette tâche nous parait très difficile lors de l'utilisation de ce type de modèle, malgré les améliorations considérables introduites dans la présente version d'EPIC au cours de ces dernières années.

Pour commencer, nous avons introduit dans le modèle des itinéraires techniques réels relatifs à la culture de blé dur dont on connaissait les rendements. Ensuite, nous avons fait tourner le modèle pour observer l'évolution des rendements tout au long des dix années climatiques considérées. La comparaison entre les données simulées et les données réelles nous a permis de constater que le modèle représente assez fidèlement les conditions pédoclimatiques de la zone considérée.

Graphique n°2 : Validation du modèle EPIC



Source: Résultats du modèle EPIC

Enfin, une fois le calibrage du modèle pour le blé dur est terminée, on procède à la validation du modèle pour le reste des cultures, tout en comparant les données simulées avec les données réelles issues des informations collectées à l'exploitation. Les résultats obtenus montrent que le modèle est bien calibré. Le seul décalage entre les résultats simuler et celles réellement observés se situe au niveau des années 1988 et 1989, c'est le cas d'ailleurs pour le blé dur.

II/ Analyse des résultats des simulations

Comme nous l'avons déjà signalé, l'utilisation du modèle EPIC dans le présent travail est orienté essentiellement vers la détermination des effets des travaux de CES aussi bien sur le rendement que sur la perte en sol. Pour cela, nous avons essayé d'effectuer de multiples simulations afin de suivre l'évolution de ces deux paramètres. Ces simulations sont essentiellement liées aux techniques de production et au type du sol, étant donné la forte corrélation qui peut exister entre ces derniers et les paramètres d'érosion et de rendements.

En ce qui concerne le paramètre sol, nous avons choisi deux sols d'origines identique (présentant les mêmes caractéristiques), seulement que l'un a bénéficié des aménagements C.E.S. depuis les années quatre-vingt alors que l'autre non.

Concernant les paramètres techniques de production, connaissant très bien la sensibilité aussi bien des rendements que de l'érosion aux différents techniques de production, nous avons essayé de choisir, à titre d'exemple, deux techniques parmi un vaste éventail de techniques, aussi bien réelles que potentielles, dégagées par le modèle de simulation, pour montrer cette sensibilité. Le choix de ces deux techniques est basé essentiellement sur des critères d'ordre économique et environnemental.

1/ Le choix des techniques de production

Comme on vient de le signaler, le modèle de simulation nous permet d'obtenir une multitude de paramètres techniques concernant un large éventail de techniques de production, toutes efficientes du point de vue agronomique. Par conséquent, le choix entre ces différentes techniques serait assez compliqué. De ce fait, nous avons cru pertinent d'introduire des critères économiques et environnementaux pour établir ce choix.

Concernant les critères économiques, ils se basent essentiellement sur la structure des prix relatifs aux facteurs de production (Charges variables). Une technique T_k est économiquement efficiente si toutes les techniques T_i telles que $C_i<C_k$ produisent des rendements $Y_i<Y_k$. En d'autres termes, on peut dire que les techniques efficientes sont celles qui, pour une structure de prix donnée, produisent un rendement plus élevé que toute autre technique ayant un coût de production par hectare inférieur **(Flichman G., 1990).**

Par contre pour les critères environnementaux, ils sont représentés par le niveau d'érosion. Une technique T_k sera efficiente de point de vue environnemental si et seulement si toutes les techniques T_i tel que $E_i<E_k$ produisent des rendements $Y_i<Yk$.

La superposition de ces deux critères permet de déterminer les techniques les plus efficientes du point de vue économique et environnemental, c'est-à-dire les techniques qui produisent un rendement élevé avec le moindre coût et le minimum d'érosion.

Pour la présente étude, faute de temps, nous étions contraints de restreindre notre travail à seulement deux techniques dont l'une est considérée efficiente économiquement (T1), alors que l'autre est efficiente du point de vue environnemental (T2).

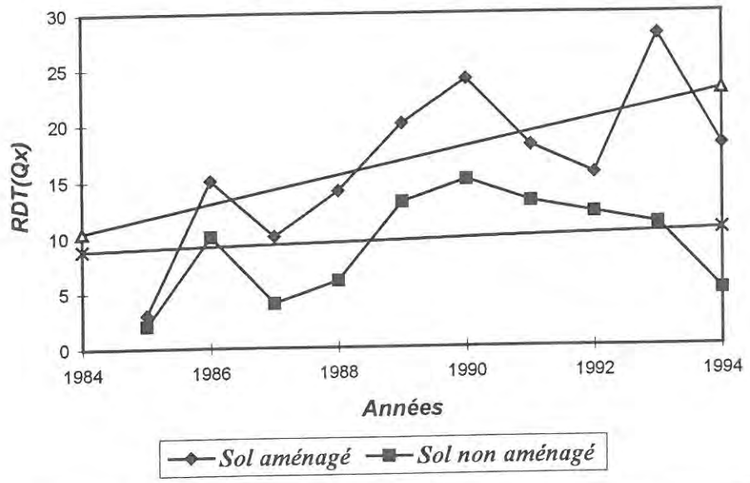
2/ Résultats d'ordre économique

Après avoir validé le modèle et déterminé les techniques de production les plus adéquates, nous avons essayé de simuler, pour une même technique de production (T1), les effets des aménagements de conservation des eaux et du sol, tout d'abord sur les rendements et ensuite sur l'érosion.

Cependant, vu le caractère céréalier de la présente exploitation, nous avons choisi de restreindre notre travail, pour la simulation des effets induits par les aménagements C.E.S. uniquement sur le blé dur. Pour cela, nous avons pris comme hypothèse que ces aménagements présentent presque le même effet sur la plupart des cultures céréalières pratiquées au niveau de l'exploitation .

Commençons par les rendements, les tendances préliminaires dégagées à partir des droites de régression linéaires ci-dessous conduisent à remarquer qu'il y a une amélioration assez importante de ceux-ci dans les sols aménagés, et une stagnation pour le sol non aménagé. En effet, pour les mêmes années climatiques et les mêmes techniques de production, ces rendements passent de 10,4 Qx/ha à 23 Qx/ha pour le sol aménagé et de 8,8 Qx/ha à 10,4 Qx/ha pour le sol non aménagé. Cette amélioration est très remarquable surtout pour les années de sécheresse. Ceci peut être expliqué par le fait que les sols aménagés emmagasinent l'eau de pluie pendant les bonnes années afin d'être disponible pour la plante pendant les mauvaises années.

Graphique n°3 : Impact des aménagements C.E.S. sur le rendement (Blé Dur)



Source: Résultats du modèle EPIC

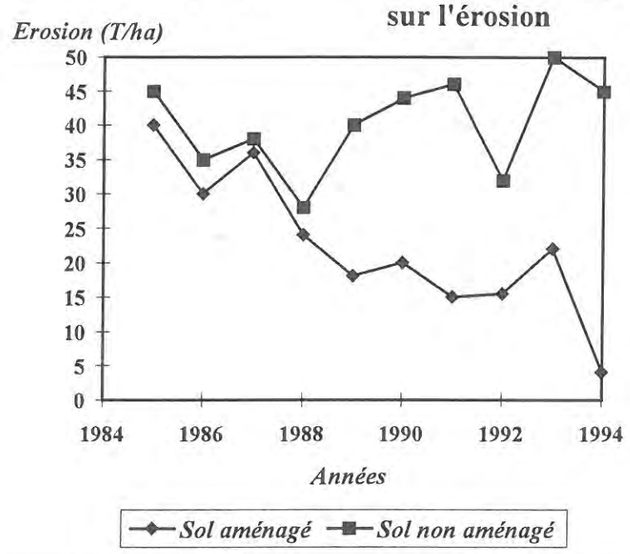
En outre, en regardant l'allure des droites de régression pour les premières années de simulation, on remarque que les rendements ainsi obtenus aussi bien dans les sols aménagés que dans les sols non aménagés sont presque identiques. Ils augmentent à peu près avec la même proportion et ne divergent que vers la quatrième année de simulation. De là, on peut remarquer que les effets de ces travaux sur le rendement ne sont pas immédiats. Donc, il faut attendre sept à huit ans après la date d'aménagement pour qu'on puisse remarquer cette efficacité.

3/ Résultats d'ordre environnementaux

Au même titre que les rendements, l'analyse de l'efficacité des travaux de C.E.S. sur l'érosion suit la même logique que celle du rendement. En effet, pour un sol non aménagé, avec le temps et en fonction de la composition cristalline des minéraux qui formaient la roche, la composante physique du sol se dessine. Ceci va induire une augmentation des particules libres facilement transportables par l'érosion aussi bien hydrique qu'éolienne vers d'autres sols hors de son lieu d'origine et déposées ailleurs.

Par contre, pour les sols aménagés, c'est l'inverse qui va se passer. Le niveau d'érosion représenté par les tonnes de particules érodées, va baisser avec le temps. Cependant, cette baisse ne peut être remarquable que huit ans après la date de réalisation des travaux. En effet, dans le présent travail, le sol choisi a été aménagé depuis les années quatre-vingt, alors que son efficacité sur l'érosion ne parait qu'au début des années quatre-vingt-dix.

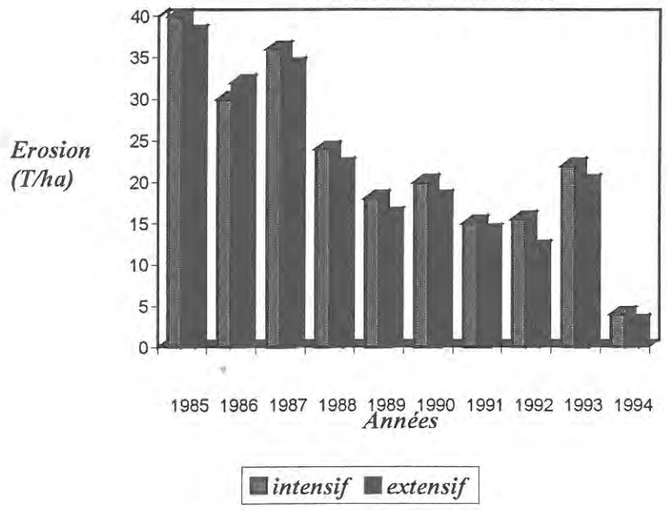
Graphique n°4 : Impact des aménagements C.E.S. sur l'érosion



Source: Résultats du modèle EPIC

En outre, disposant de ces deux types de techniques de production (T1, T2), nous avons décidé de simuler, pour un sol aménagé (S1), l'effet de l'utilisation intensive des intrants (engrais, labours,...) sur l'érosion. Le choix a été fait seulement sur l'érosion étant donné que leurs effets sur les rendements sont connus universellement.

Graphique n°5 : Erosion avec deux niveaux différents d'utilisation d'intrants



Source: Résultats du modèle EPIC

D'après le graphique, nous constatons, comme il était prévisible, que l'érosion est d'autant plus forte que le système de production est plus intensif.

En conclusion, l'utilisation du modèle de simulation de la croissance des plantes présente un grand intérêt pour l'évaluation des effets des techniques de C.E.S. aussi bien sur le rendement que sur l'érosion. En effet, il nous a permis d'appréhender les deux principaux problèmes concernant l'érosion soulignés par McConnell (1983): <<la contamination produite par le ruissellement (des particules) et l'évaluation de la qualité des sols>>.

Le modèle apparaît aussi comme source d'information concernant les coefficients techniques destinés à être incorporés dans la matrice du modèle économique qui fait l'objet de la section suivante.

Section II : Les variables et les contraintes endogènes du modèle économique

D'une manière générale, l'emploi d'un modèle d'optimisation permet de traduire les choix de production et les techniques adoptées, compte tenu des disponibilités en facteurs de production afin d'obtenir le maximum d'utilité. Son application vise essentiellement une modélisation de la conduite d'une exploitation face aux différentes conditions techniques, économiques et environnementales.

I/ Les activités productives

Cette tâche consiste à spécifier les diverses activités productives destinées à être inscrites dans la matrice du modèle. Pour cela, il est nécessaire, d'un côté, de déterminer les besoins en ressources, en intrants, en main-d'oeuvre, en capital ... de chaque activité, et de l'autre, il faut déterminer les impacts de chaque activité au niveau de la production (rendements, biomasse, résidus, etc.) en fonction de diverses techniques de gestion, d'intensité...

Ces informations peuvent être collectées, auprès des dirigeants durant l'enquête, et complétées par l'avis des chercheurs régionaux. En revanche, la tâche devient plus complexe lorsque l'on se penche sur les effets de chaque alternative technique. Il faut alors se baser sur les résultats estimés et spécifier les fonctions de réponse ou utiliser les modèles de simulation de la croissance des plantes.

1/ Les activités végétales

Sachant que la ferme Sawaf pratique seulement des cultures en sec, nous n'avons pas cherché à spécifier le type de sol. Par contre, chaque activité de production , $X_{C,T,P,PC,HP}$ est définie en fonction de cinq éléments différents:

C : culture (blé , orge en grain, orge en vert, ensilage d'orge, avoine graine, avoine foin, médicago, sulla, olive, jachère)
T : technique (intensive, extensive)
P : période (p1, p2, p3)
PC : précédent cultural
HP: horizon de planification (hp1, hp2, hp3)
Concernant l'inventaire des paramètres et des coefficients technico-économiques à retenir, nous l'avons établi aussi bien sur la base des normes régionales, que sur la base des données issues de la reconstitution des fiches technico-économiques des différentes spéculations pratiquées sur l'exploitation.

2/ Les activités animales

Etant donné la multipériodicité et la récursivité de notre modèle, nous allons essayer de suivre l'évolution des effectifs animaux et le changement de leur régime alimentaire, année par année, tout en considérant la campagne 91/92 comme année de début de simulation. Pour cela, les paramètres et les critères techniques de conduites d'élevage à retenir seront ceux de l'année considérée.
Parmi ces paramètres retenus, on peut citer:
* Taux de fertilité : 92 %
* Taux de réforme : 15 %
* Taux de prolificité : 115 %
* Taux de mortalité : 2,66 %
* Taux de renouvellement : 17 %
* Taux de fécondité : 107 %

En ce qui concerne le régime alimentaire, afin de bien suivre sa fluctuation, nous avons essayé de diviser l'année en trois périodes, prenant en compte les saisons de l'année civile et déterminées à partir du calendrier fourrager pratiqué à l'exploitation.

Tableau n°14 : Calendrier fourrager de la ferme Sawaf

	Période 1				Période 2				Période 3			
Alimentation	**Jan**	**Fév**	**Mar**	**Avri**	**Mai**	**Juin**	**Juil.**	**Aoû**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Déc**
Médicago	■	■	■	■								
Orge en vert	■	■	■	■								
Foin	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ensilage												
Parcours	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Acacia												
Luzerne arb.					■	■	■	■				
Atriplex					■	■	■	■				
Cactus	■	■	■	■								
Concentré	■	■	■	■					■	■	■	■

Source: Rapports d'activités

II/ Formulation de la fonction objectif et prise en compte du risque

1/ Fonction objectif

La fonction objectif retenue dans la présente maquette de polyculture-élevage est une utilité espérée **U** qui prend en considération les doubles objectifs auxquels correspondent respectivement deux coefficients de pondération. Le premier objectif, d'ordre économique, consiste à maximiser l'espérance du revenue net actualisé **(R)**, critère classique dans tout modèle multipériodique. Le second objectif, d'ordre environnemental, consiste à minimiser les pertes du sol causées par l'érosion. L'optimisation de cette fonction d'utilité se fait sur une durée allant de 1992 à 2000, obtenue par la translation des horizons de planification dont la durée est de trois ans chacun.

Maximiser: E(RNA)
Minimiser : ERO

$$\text{Max } U = W1*E(RNA) - W2*(ERO)$$

Avec:

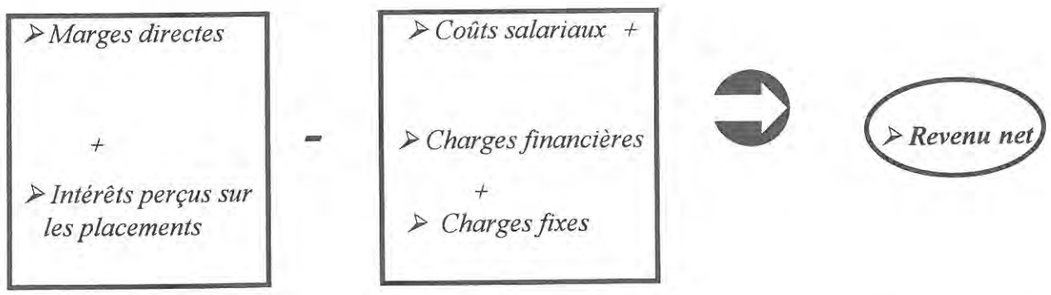
$$E(RNA) = \sum_{HP} [E(Z_{HP})]/(1+ta)^{n-1}$$

* *E(RNA)* :*L'espérance du revenu net actualisé.*

$$* E(Z_{HP}) = \sum_{C,T,P,PC} [X_{C,T,P,PC,HP} * E(Y_{C,T,P,N}) * P_{C,HP} - X_{C,T,P,PC,HP} * COV_{C,T,P,HP}] + \sum_{An,P} [V_{An,P,HP} * P_{An,P,HP} - EFF_{An,P,HP} * COA_{An,P,HP}] - [NMP * CUP_{HP} + CF_{HP}] + \sum_{P} [PLA_{P,HP} * TPP_{HP} - EMPCT_{P,HP} * TIC_{HP}] - [EMPLT_{HP} * (TIL_{HP})/2]$$

- $E(Z_{HP})$: *Revenu net annuel espéré*
- $E(Y_{C,T,P,N})$: *Espérance des rendements par activité sur les états de nature*
- $P_{C,HP}$: *Prix des activités par horizon de planification*
- $COV_{C,T,P,HP}$: *Charges opérationnelles par activité et par HP*
- $V_{An,P,HP}$: *Nombres d'animaux vendus par période et par HP*
- $EFF_{An,P,HP}$: *Effectif des animaux par période et par HP*
- $COA_{An,P,HP}$: *Charges opérationnelles par animal et par HP*
- NMP : *Nombre de main-d'oeuvre permanente*
- CUP_{HP} : *Coût unitaire de main-d'oeuvre permanente par HP*
- CF_{HP} : *Coût fixe par HP (dotations aux amortissements)*
- $EMPCT_{P,HP}$: *Niveau des emprunts à court terme par période et par HP*
- $EMPLT_{HP}$: *Niveau des emprunts à long terme par HP*
- $PLA_{P,HP}$: *Niveau des placements par HP*
- TIC_{HP} : *Taux d'intérêt à court terme*
- TIL_{HP} : *Taux d'intérêt à long terme*
- TPP_{HP} : *Taux de placement*

Avec Z_{HP} : *Revenu net espéré*



** ta: taux d'actualisation: exprime la préférence du décideur pour le présent par rapport à l'avenir. Le choix de ce taux est assez délicat, il diffère d'un agent à l'autre. Le caractère subjectif de ce taux est due en fait à un certain nombres d'éléments, à savoir: Le rendement attendu de l'argent, le coût de*

financement, la durée de l'étude, l'inflation, les risques liés au projet, etc. L'unique référence au choix de ce taux est le taux d'intérêt à long terme. Ceci correspond aujourd'hui en Tunisie à,
- entre 12 et 13% en dinars courants et,
- entre 7 et 10% en dinars constants.
Pour le présent travail, ce taux est fixé, en fonction du taux d'intérêt réel, à 7% (taux réel en1992), c'est-à-dire sans tenir compte ni de l'inflation ni de la prime du risque étant donné qu'elles sont inclues dans le modèle et dans le calcul des critères d'évaluation.

ERO: *L'objectif correspondant à la minimisation de l'érosion*
$ERO = \sum ERO_{C,HP}$

Wi *: Coefficient de pondération*

2/ La prise en compte du risque

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

Parmi les différents types du risque auxquels les producteurs agricoles doivent faire face, on peut citer:
* Le risque de production, représenté par la variabilité des rendements en fonction des aléas climatiques, variable sur laquelle, en général, le producteur a peu d'influence.
* Le risque dans les prix, qui influence la prise de décision à deux moments: au moment du choix de type du culture, choix fondé sur les anticipations sur les prix **(Boussard J.M., 1970; Gérard, 1991)** et au moment de la mise en marché, lorsque le producteur doit choisir entre stocker ou vendre sa production, ce qui affectera la quantité totale offerte et par conséquent ses revenus **(Gérard, 1991).**

Pour formuler ce risque, nous avons adopté une méthode inspiré par celle proposée par Markovitz en 1952. Cette méthode consiste à minimiser la somme des déviations totales entre le revenu espéré **($E(Z_{HP})$)** et le revenu en fonction des états de nature (N) et des variations de prix (PI) **($Z_{N,PI,HP}$) (Blanco M., 1995).**

$$\textbf{Max } U = W1 * [E(RNA) - \phi.\sigma_n] - W2 * (ERO)$$

Avec:
- *E(RNA)* : ***L'espérance du revenu net*** *actualisé;*
- *Wi* : *Coefficient de pondération;*
- *ERO* : *L'objectif correspondant à la minimisation de l'érosion*
- σ_n : *Ecart type par rapport à l'espérance du revenu;*
- ϕ : *Coefficient d'aversion au risque.*

L'écart type est calculé à partir des déviations par rapport au revenu espéré, exprimé par:

$$DEV_{N,PI,HP} = E(Z_{HP}) - Z_{N,PI,HP}$$

Avec:

$$* Z_{N,PI,HP} = \sum_{C,T,P,PC} [X_{C,T,P,PC,HP} * Y_{C,T,P,N} * P_{C,HP} * VP_{C,PI} - X_{C,T,P,PC,HP} * COV_{C,T,P,HP}]$$

$$+ \sum_{An,P} [V_{An,P,HP} * P_{An,P,HP} * VP_{An,PI} - EFF_{An,P,HP} * COA_{An,P,HP}]$$

$$- [NMP * CUP_{HP} + CF_{HP}]$$

$$+ \sum_{P} [PLA_{P,HP} * TPP_{HP} - EMPCT_{P,HP} * TIC_{HP}]$$

$$- [EMPLT_{HP} * TIL_{HP}]$$

- $Z_{N,PI,HP}$: *Revenu en fonction des états de la nature(N) et des variations des prix (PI)*
- $VP_{C,PI}$: *Coefficient de variation des prix des cultures*
- $VP_{An,PI}$: *Coefficient de variation des prix des animaux*
- $Y_{C,T,P,N}$: *Rendement des cultures en fonction des états de la nature N*

L'écart type est calculé d'une façon endogène à partir des déviations par rapport à la valeur actualisée nette de revenu direct, exprimé par:

$$ECTY = [(\sum_{N,PI,HP} DEV_{N,PI,HP})^2]^{1/2}$$

III/ Formulation des contraintes de multiperiodicite

Le terme multipériodique signifie que chaque année on optimise le revenu des trois années à venir (on a appelé ces 3 ans : horizon de planification).

La formulation de ces types de contraintes de programmation consiste à écrire toutes les relations qui limitent le choix des valeurs possibles des variables de décision. Cette formulation traduit la concurrence qui existe entre plusieurs activités ou variables pour l'emploi d'une ressource limitée ainsi que l'influence du choix d'un certain plan de production d'une année sur l'année qui suit.

1/ Contraintes agronomiques

A/ Occupation du sol

Avec cette contrainte, notre objectif est de limiter, pour chaque horizon de planification, la somme des superficies consacrées aux différentes activités de production à une superficie inférieure ou égale à la surface agricole utile disponible pendant cet horizon.

$$\sum_{C,T,P,PC} X_{C,T,P,PC,HP} \leq SAU_{HP}$$

- SAU_{HP} : *Surface agricole utile pour chaque horizon de planification*

B/ Rotation culturale

La présente contrainte montre que la superficie avec un précédent cultural (PC) pour l'horizon de planification (HP) ne peut pas dépasser la superficie consacrée à cette même culture au cours de l'horizon de planification (HP-1).

$$\sum_{C,T,P,PC} X_{C,T,P,PC,HP} \leq \sum_{C,T,P,PC} X_{C,T,P,PC,HP-1}$$

2/ Contraintes de main-d'oeuvre

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

Le manque de main-d'oeuvre permanente, d'une part, et l'existence d'un caractère saisonnier des activités agricoles, d'autre part, conduisent les responsables de la ferme Sawaf à recruter de la main-d'oeuvre occasionnelle pour accomplir certains travaux.

Pour formuler cette contrainte, nous avons supposé que, pour chaque période, la somme des besoins en main-d'oeuvre de chaque activité ne devrait pas dépasser les ressources en main-d'oeuvre disponible pendant cette période.

$$\sum_{C,T,PC} X_{C,T,P,PC,HP} * BMC_{C,T,P} + \sum_{P} EFF_{An,P,HP} * BMA_{An,P} \leq HDM_P$$

- $BMC_{C,T,P}$: *besoin en main-d'oeuvre par culture et par période*
- $BMA_{An,P}$: *besoin en main-d'oeuvre par catégorie d'animaux et par période*
- HDM_P : *nombre de main-d'oeuvre disponible par période*

3/ Contraintes de traction mécanique

Au même titre que les besoins en main-d'oeuvre, la somme des besoins en heures de traction pour chaque activité et par période doit être inférieure ou égale au nombre d'heures de traction disponible pour chaque période.

$$\sum_{C,T,PC} X_{C,T,P,PC,HP} * BTC_{C,T,P} + \sum_{P} EFF_{An,P,HP} * BTA_{An,P} \leq HDT_P$$

- $BTC_{C,T,P}$:*besoin en heures de traction par culture et par période*
- $BTA_{An,P}$:*besoin en heures de traction par catégorie d'animaux et par période*
- HDT_P :*nombre d'heures de traction disponible par période*

4/ Contraintes relatives à l'élevage ovin

A/ Contrainte alimentation[1]

Afin de garantir une ration alimentaire optimale capable de satisfaire les besoins et de remédier aux imperfections alimentaires, on a choisi de formuler et de mettre en concurrence les besoins alimentaires des animaux ainsi que la valeur alimentaire des différents produits de fourrages. Cette formulation permettra de chercher l'adéquation permanente entre les besoins des animaux et les ressources alimentaires disponibles.

[1] *Les valeurs des aliments et leur teneur en matière sèche ainsi que les besoins des animaux et leur capacité d'ingestion sont déterminés à partir des << Tables des valeurs alimentaires des aliments utilisés en Tunisie dans l'alimentation du bétail >>* ***(Abdouli.H, Kariem.K, 1989)***

➲ Besoin énergétique

La somme des besoins en unités fourragères de chaque catégorie d'animaux par période doit être inférieure ou égale au nombre d'unités fourragères disponibles par période.

$$\sum_{An} EFF_{An,P,HP} * BUF_{An,P} \leq \sum_{AF,T,PC} X_{AF,T,P,PC,HP} * UFPAT_{AF,T,P} + \sum_{CV,T,PC} X_{cv,T,P,PC,HP} * UFCHCER_{CV,T,P} + \sum_{FOU,T,PC} X_{Fou,T,P,PC,HP} * UFCHFOI_{FOU,T,P} + \sum_{An,C} QDIS_{An,C,P,HP} * UFS_C + \sum_{An} QCDIS_{An,P,HP} * UFCC$$

- $UFPAT_{AF,T,P}$: *Unité fourragère des arbustes fourragers pâturés*
- $UFCHCER_{CV,T,P}$: *Unité fourragère du chaume de céréales*
- $UFCHFOI_{FOU,T,P}$: *Unité fourragère du chaume de foin*
- UFS_C : *Unité fourragère des aliments distribués (concentrénon compris)*
- $UFCC$: *Unité fourragère de concentré*
- $QDIS_{An,C,P,HP}$: *Quantités des aliments distribués par animal*
- $QCDIS_{An,P,HP}$: *Quantités de concentré distribués par animal*

➲ Besoin en matière sèche

Identique au besoin énergétique, seulement on remplace le besoin en unités fourragères par le besoin en matières sèches.

$$\sum_{An} EFF_{An,P,HP} * BMS_{An,P} \leq \sum_{AF,T,PC} X_{AF,T,P,PC,HP} * MSPAT_{AF,T,P} + \sum_{CV,T,PC} X_{cv,T,P,PC,HP} * MSCHCER_{CV,T,P} + \sum_{FOU,T,PC} X_{Fou,T,P,PC,HP} * MSCHFOI_{FOU,T,P} + \sum_{An,C} QDIS_{An,C,P,HP} * MSS_C + \sum_{An} QCDIS_{An,P,HP} * MSCC$$

- MS: *Matière sèche*

➲ Besoin azoté

Même chose que le besoin énergétique, seulement on remplace le besoin en unités fourragères par le besoin en matières azotées.

$$\sum_{An} EFF_{An,P,HP} * BMAD_{An,P} \leq \sum_{AF,T,PC} X_{AF,T,P,PC,HP} * MADPAT_{AF,T,P} + \sum_{CV,T,PC} X_{cv,T,P,PC,HP} * MADCHCER_{CV,T,P} + \sum_{FOU,T,PC} X_{Fou,T,P,PC,HP} * MADCHFOI_{FOU,T,P} + \sum_{An,C} QDIS_{An,C,P,HP} * MADS_C + \sum_{An} QCDIS_{An,P,HP} * MADCC$$

- MAD: *Matière azoté digestible*

➲ Ration alimentaire

30% des besoins alimentaires des animaux doivent être fournis par des cultures de grains et par des concentrés.

$$\sum_{An} EFF_{An,P,HP} * BUF_{An,P} \leq 30\% \left(\sum_{An,C} QDIS_{An,C,P,HP} * UFS_C + \sum_{An,P} QCDIS_{An,P,HP} * UFCC \right)$$

➲ Capacité d'ingestion

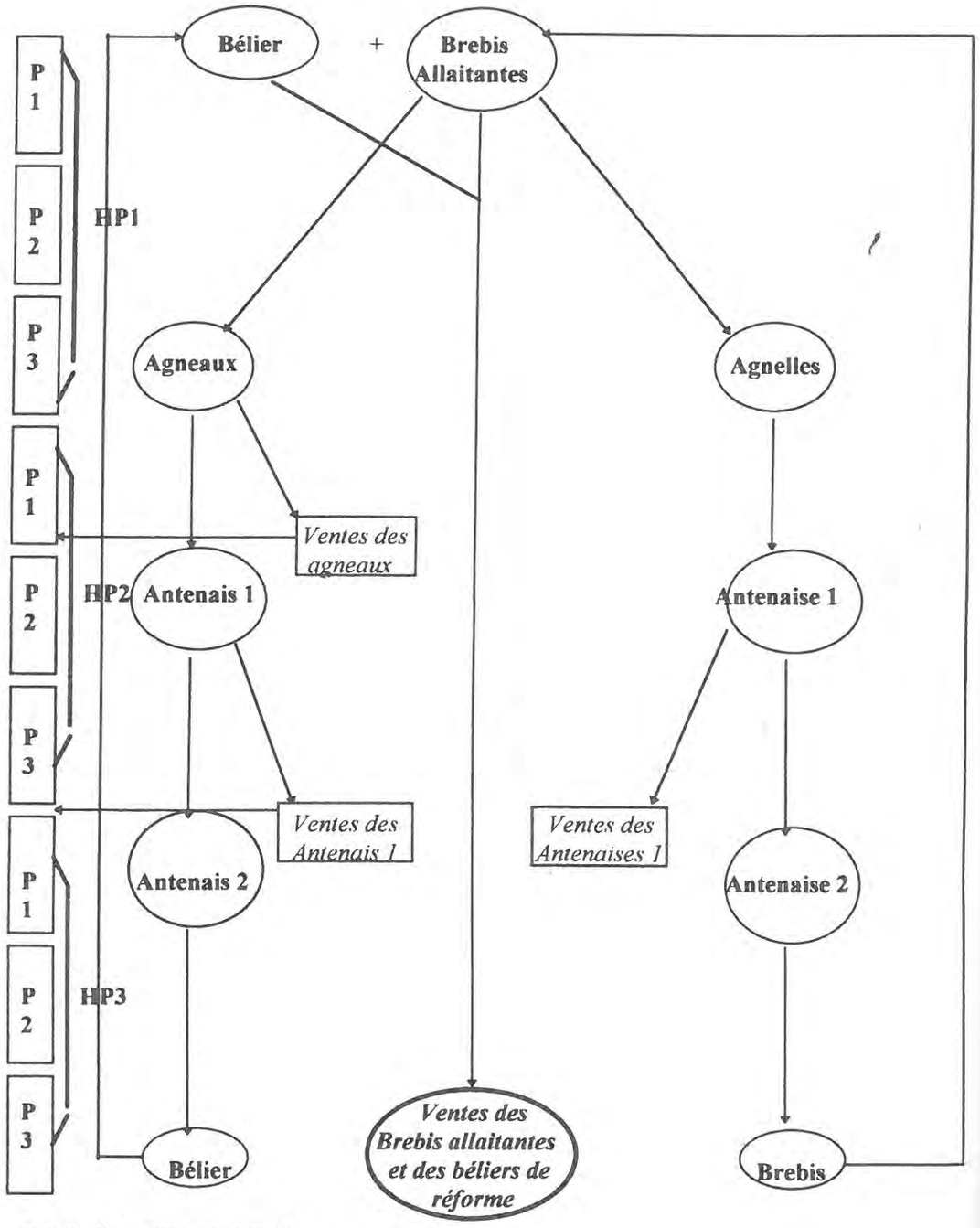
Etant donné que les besoins alimentaires des animaux sont limités par la capacité d'ingestion, nous avons choisi d'introduire la présente contrainte qui suppose que la quantité de matière sèche fournie par les aliments par période est limitée par la quantité maximale de matières sèches pouvant être ingérée.

$$\left[\sum_{AF,T,PC} X_{AF,T,P,PC,HP} * MSPAT_{AF,T,P} + \sum_{CV,T,PC} X_{CV,T,P,PC,HP} * MSCHCER_{CV,T,P} + \sum_{FOU,T,PC} X_{Fou,T,P,PC,HP} * MSCHFOI_{FOU,T,P} + \sum_{An,C} QDIS_{An,C,P,HP} * MSS_C + \sum_{An} QCDIS_{An,P,HP} * MSCC \right] \leq \sum_{An} EFF_{An,P,HP} * CAPING_{An}$$

B/ Contrainte renouvellement du troupeau

Les effectifs se raisonnent période par période, ce qui permet de suivre très précisément leur évolution en fonction des naissances, des ventes et des changements de catégorie. Cependant, vu la multiplicité des équations expliquant l'évolution des effectifs pour chacune des catégories d'animaux, nous avons préféré la montrer sous forme graphique, sachant que vous trouverez toutes les équations détaillées dans le programme GAMS dans la partie Annexes.

Fig2: Les flux d'animaux



Source: Elaboration personnelle

5/ Contrainte emprunt

Le modèle offre la possibilité de réaliser des emprunts aussi bien à long terme qu'à court terme. Cependant, il suppose l'existence de deux contraintes relatives à chacune des deux. La première concerne les emprunts à court terme, elle suppose que la banque fixe un montant maximum annuel d'engagement que l'exploitant ne peut dépasser. La deuxième, liée aux emprunts à long terme, indique que ces derniers sont seulement empruntés pour financer les investissements liée au projet et remboursables sur dix ans.

$$\sum_{P} EMPCT_{P,HP} \leq MAXECT_{HP}$$

$$\sum_{P} EMPLT_{HP} \leq \sum_{CES} INVCES_{CES,HP} + AINV_{HP}$$

- $EMPCT_{P,HP}$: *Niveau des emprunts à court terme par période et par HP*
- $MAXECT_{HP}$: *Montant maximum annuel des prêts accordés par la banque*
- $INVCES_{CES,HP}$: *Investissement en matière CES*

$$INVCES_{CES,HP} = COMPCES_{CES,HP} * COUCES_{CES,HP}$$

- $COMPCES_{CES,HP}$ *:les composantes des aménagements CES en Ha*
- $COUCES_{CES,HP}$ *:Les coûts par Ha des aménagements CES.*

- $AINV_{HP}$: *Autres investissements.*
- $EMPLT_{HP}$: *Niveau des emprunts à long terme par HP*

En outre, en ce qui concerne les emprunts à court terme, étant donné qu'ils sont annuels, le modèle suppose que leur remboursement est totalisé à la fin de chaque année. Cependant, il laisse la liberté de choix pour la durée de remboursement des emprunts d'une période donnée.

$$\sum_{P} EMPCT_{P,HP} = \sum_{P} REMPCT_{P,HP} + \sum_{P} SENDT_{P,HP}$$

- $REMPCT_{P,HP}$: *Montant des emprunts à court terme remboursés pendant la période P*
- $SENDT_{P,HP}$: *Niveau des emprunts à court terme de la période P non remboursés*

6/ Contrainte trésorerie

Le solde de trésorerie du mois précédent, majoré des rentrées monétaires de la période et diminué des déboursements mensuels, donne l'état de la trésorerie du mois en cours.

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

$$CASH_{P,HP} = \sum_{C,T,PC} [\, X_{C,T,P,PC,HP} * E(Y_{C,T,P,N}) * P_{C,HP} - X_{C,T,P,PC,HP} * COV_{C,T,P,HP} \,]$$

$$+ \sum_{An} [\, V_{An,P,HP} * P_{An,P,HP} - EFF_{An,P,HP} * COA_{An,P,HP} \,]$$

$$- \quad [NMP * CUP_{HP} + CF_{HP}]$$
$$+ \quad [PLA_{P,HP} * TPP_{HP} - EMPCT_{P,HP} * TIC_{HP}]$$
$$+ \quad [EMPCT_{P,HP} - REMPCT_{P,HP} - SENDT_{P-1,HP}]$$
$$- \quad [EMPLT_{HP} * (TIL_{HP}/2)] + [CASHP_{P,HP}]$$
$$+ \quad [TRESHP_{P1,HP}]$$

- $CASH_{P,HP}$: *cash flow ou trésorerie par période et par HP*
- $CASHP_{P,HP}$: *cash flow ou trésorerie de la période précédente*
- $TRESHP_{P1,HP}$: *cash flow ou trésorerie du début de l'année*

7/ Equation d'érosion

Pour ce qui est de l'érosion, étant donné que l'objectif primordial des aménagements de conservation des eaux et du sol est d'ordre environnemental, consistant à la limitation des dégâts causée par l'érosion, nous avons pensé à formuler la présente contrainte. Cette formulation est rendu possible grâce aux données dégagées par le modèle biophysique, et qui associent à chaque culture, type de sol et niveau de technique utilisée, les pertes de sol par année et par état de la nature selon la variabilité climatique.

Mathématiquement, ces résultats se formulent comme suit:

$$\sum_{C,T,P} EROSI_{C,T,HP} * X_{C,T,P,PC,HP} = ERO_{HP}$$

$EROSI_{C,T,HP}$: *Erosion par culture, par technique et par HP*

IV/ Formulation des contraintes de recursivite

L'utilisation de la présente contrainte signifie que les résultats de la première année de l'horizon de planification sont considérés comme données de départ de la première année du nouvel horizon de planification. Pour notre modèle, sont ainsi considérés la S.A.U., la trésorerie et bien sûr les effectifs d'animaux.

1/ La S.A.U.

La SAU de l'horizon de planification correspond au total des hectares cultivés au cours de cet horizon.

$$\sum_{C,T,P,PC} X_{C,T,P,PC,HP} \leq SAU_{HP}$$

2/ La trésorerie initiale

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

3/ Les effectifs

Les effectifs de fin d'année sont repris comme effectifs de début de l'année suivante.

V/ Conclusion

L'utilisation de ce modèle va donc nous permettre de répondre aux deux dernières interrogations de notre problématique. En effet, par le biais d'un modèle de base avec une fonction objectif de type néoclassique (maximisation du revenu net) nous essayerons, d'une part, de simuler l'évolution du système de production et de la situation économique et environnementale de l'exploitation après projet, et d'autre part, d'évaluer l'efficacité et la rentabilité financière et économique de ce projet, et par le biais d'un modèle multicritère nous tenterons de déterminer un système de production qui soit bénéfique aussi bien du point de vue économique qu'environnemental: un système qui cherche un compromis entre le maximum de profit et le minimum d'érosion. C'est l'objet de notre deuxième section.

Cinquième chapitre
Analyse des résultats

Section 1 : Les résultats du modèle de base

I/ Introduction

L'utilisation de la modélisation de base, dans le cadre de cette étude, a pour objectif de simuler essentiellement l'évolution du système de production et des revenus net et brut de cette exploitation, éléments indispensables pour évaluer, par la suite, l'efficacité et la rentabilité financière ou/et économique du projet de conservation des eaux et du sol. En effet, avec ce modèle nous quantifions les avantages et les coûts obtenus en présence du projet, desquels nous déduisons, ensuite, la valeur de la situation de référence et le coût d'investissement pour déterminer la rentabilité du projet.

Cependant, afin d'atteindre cet objectif, il faut, d'abord, spécifier la forme, la façon et l'utilité de ce modèle et ensuite s'assurer de la cohérence, la qualité et la validité de ses résultats et ceci en les comparant avec les résultats réellement observés.

II/ Spécificité du modèle

D'une façon générale, l'utilisation de la programmation mathématique, éventuellement sous forme linéaire imposant le recours à l'optimisation, peut se faire soit de façon descriptive afin d'expliquer la réaction probable des divers acteurs face aux changements des politiques, soit d'une façon normative comme un outil d'aide à la décision .

Dans le présent travail, comme nous l'avons déjà signalé, l'utilisation descriptive nous semble beaucoup plus appropriée. Avec cette utilisation, notre objectif primordial serait de reproduire le fonctionnement de l'exploitation objet d'étude. Ceci nous permet d'une part, de comprendre les interdépendances entre les variables et les composantes de cette exploitation et, d'autre part, de détecter les principaux points de blocage et d'étranglement auxquels elle est confrontée. *"L'objectif est donc non pas de dire ce [que les agriculteurs] doivent faire mais comprendre pourquoi ils font ce qu'ils font"* **(Lacombe PH., 1996).**

Cependant, quelque soit le type d'utilisation, normative ou positive, il est indispensable avant de s'en servir pour prendre une décision, de vérifier sa qualité. Naturellement il faut tout d'abord, naturellement, s'assurer de sa cohérence interne: les relations algébriques, qui constituent le modèle correspondent-elles à ce qu'on sait par ailleurs du phénomène étudié? Mais cela n'est pas suffisant. Il est donc nécessaire de trouver un moyen de comparer les résultats du modèle avec ceux qu'il "aurait dû" donner s'il avait fonctionné parfaitement **(Boussard J.M., 1987).**

Dans le modèle purement descriptif correpondant à notre cas, la validation se base sur des tests historiques, c'est-à-dire essayer de faire fonctionner le modèle dans un environnement observé dans le passé, et de comparer les valeurs prédites par le modèle à celles qui ont été effectivement enregistrées, en prenant comme objectif la maximisation du profit de l'exploitation **(Boussard J.M., 1987).**

Cependant, cette tâche est loin d'être facile. En effet, bien qu'il soit aisé d'admettre que l'entrepreneur cherche à maximiser le bénéfice de l'exploitation, il est difficile d'exprimer sa préférence entre des activités très productives risquées et des activités moins productives mais avec un risque moindre. Il est de même difficile de savoir s'il cherche un bénéfice à court terme ou bien à long terme.

Par conséquent, nous allons considérer que le modèle a une qualité acceptable lorsqu'il conduit à des plans de production similaires de ceux effectivement réalisés dans la situation initiale connue (1992). Le principal paramètre à utiliser pour atteindre ces plans de production doit refléter par conséquent le comportement rationnel de l'entrepreneur, c'est le coefficient d'aversion au risque.

L'étalonnage du modèle nous a amené à choisir le coefficient d'aversion au risque ϕ=0.045 représentant ainsi les décisions prises par l'entrepreneur

III/ Validation du modèle

Avant de nous pencher dans la présentation des résultats de notre modèle, nous voulons rappeler que sa validation a été basée sur l'utilisation de la fonction objectif du genre néoclassique -maximisation du revenu net d'exploitation-, étant donné qu'elle permet de représenter la fonction d'utilité réelle du producteur. Pourtant, comme l'indique **J.M. Boussard** (1970) << *il est pratiquement impossible de définir un comportement rationnel de façon purement théorique. En réalité, la seule justification de l'emploi d'un critère d'optimisation particulier, parmi tout ce que l'on peut envisager, est qu'il conduise à des plans optimaux voisins de ceux effectivement mis en oeuvre par les bons agriculteurs se trouvant dans la situation qui a servi de référence pour la construction du modèle*>>. Donc, nous allons débuter la modélisation par l'utilisation de cette fonction, sachant qu'elle sera modifiée plus tard afin de s'aligner sur cette remarque de **J.M. Boussard**.

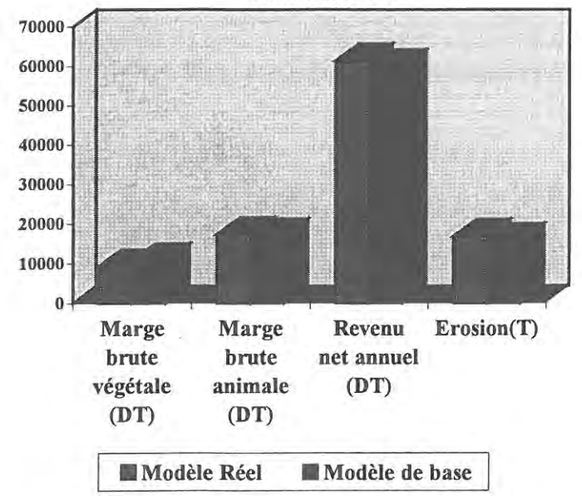
L'emploi d'une fonction de genre néoclassique (maximisation du revenu net espéré), associé à un choix convenable du coefficient d'aversion au risque (ϕ=0.045), nous a permis de reproduire un plan de production voisin de celui effectivement réalisé dans la situation initiale connue (1992).

En effet, les résultats de cette situation initiale, obtenus par le modèle de base, sont très proches de ceux réellement observés sur l'exploitation. La solution optimale ainsi obtenue dégage un revenu brut d'environ 91558,20 dinars tunisiens (D.T.) et ce pour une superficie labourable de 800 ha, soit une productivité moyenne du facteur terre de 114,44 D.T./ha. Par contre, pour le revenu net espéré (Revenu net = Revenu brut - dotations aux amortissements), il est de l'ordre de 59799,90 D.T. (cf. graphique n°:5.1).

Cependant, nous avons remarqué qu'il y a un petit décalage entre le réel et le modèle concernant la marge brute végétale, qui peut être expliqué par la non acceptation du modèle de certaines cultures fourragères à savoir l'avoine foin et le sulla dont les coûts correspondants sont assez élevés. Ces cultures seront remplacées essentiellement par l'orge qui dégage une marge brute importante.

En outre, afin d'assurer une alimentation régulière sur toute l'année pour un effectif croissant d'animaux, le modèle préfère de s'orienter vers la plantation d'arbustes fourragers qui s'adaptent mieux aux conditions climatiques difficiles.

Graphique n° 6 : Comparaison entre le modèle de base et le modèle réel



Source: résultats du modèle

IV/ Présentation des résultats du modèle

Une fois que le modèle de base est validé, nous débuterons la simulation par la recherche du revenu net actuel espéré de l'exploitation, sur une durée allant de 1992 à 2000, obtenue par la translation des horizons de planification dont la durée est de trois ans chacun.

Les raisons de choix de ce type de simulation sont, d'une part, de comprendre l'évolution, au fil des années, de la situation technico-économique et l'incidence de celle-ci sur les ressources naturelles en particulier le sol et, d'autre part, de comparer cette situation avec celle obtenue dans le cas où on optimise à la fois les deux objectifs.

1/ Les activités productives retenues par le modèle

Les tendances constatées d'après le tableau d'évolution d'occupation du sol montrent qu'il y a une orientation vers les cultures les moins risquées et qui s'adaptent mieux aux conditions climatiques (la culture céréalière et les arbustes fourragers), tout en laissant à part les cultures fourragères dont le coût est élevé.

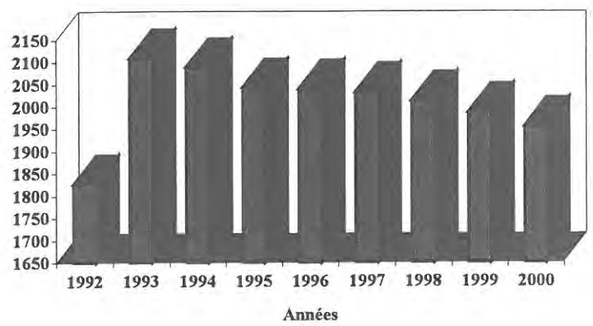
Tableau n°15 : Evolution de l'occupation du sol

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Cultures céréalières	270	363	412	396	433	404	484	424	440
Cultures fourragères	403	380	418	321	270	230	222	300	252
Arbustes fourragers	434	567	530	659	713	742	717	716	689
Jachère	63	80	90	74	24	24	27	10	69
Total	**1150**	**1390**	**1450**	**1450**	**1450**	**1450**	**1450**	**1450**	**1450**

Source: résultats du modèle

Cette variation de l'occupation du sol a engendré une fluctuation assez importante dans les disponibilités alimentaires et, par conséquent, dans l'effectif des animaux qui passe de 1826 en 1992 à 2109 en 1993 pour atteindre un effectif de 1956 à l'an 2000.

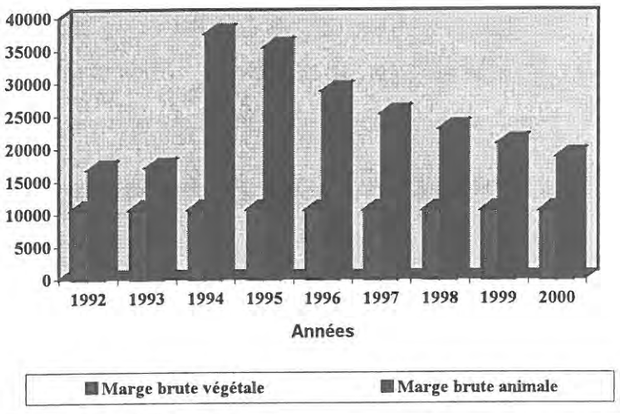
Graphique n°7 : Evolution de l'effectif ovin



Source: résultats du modèle

En outre, cette fluctuation de l'occupation du sol et de l'effectif ovin a entraîné des variations assez remarquables de la marge brute végétale allant de 10706 D.T. en 1992 à 10719 D.T. en 1995, pour atteindre 10635 D.T. à l'an 2000, ainsi que de la marge brute animale qui passe aussi de 16928 D.T. en 1992 à 37594 D.T. en 1995 puis diminue pour arriver à 18850 D.T. en 2000.

Graphique n°8 : Evolution des marges brutes animale et végétale



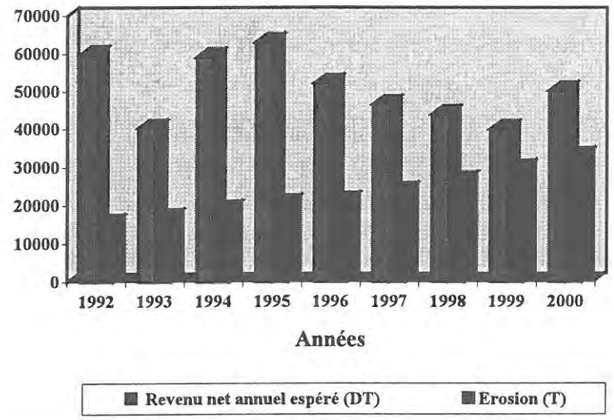
Source: résultats du modèle

2/ Evolution du revenu net annuel

La lecture du graphique ci-après, nous a permis de remarquer qu'il y a une nette augmentation du revenu net annuel qui passe de 59799 D.T. en 1992 à 63000 D.T. en 1995 Cependant, cette

augmentation est suivie d'une baisse assez remarquable de l'ordre de 25% entre 1994 et 2000 en raison de la diminution des marges brutes animales et végétales.

Graphique n°9 : Evolution du revenu net annuel espéré et de l'érosion



Source: résultats du modèle

Toutefois, cette variation de forme sinusoïdale du revenu net est suivie d'une évolution spectaculaire de l'érosion qui passe de 15685 T en 1992 à 32895 T en 2000, soit une augmentation de l'ordre de 52%, ce qui explique bien que la recherche d'une maximisation du profit sans tenir compte des aspects environnementaux peut entraîner des dégâts considérables sur ce dernier.

Cependant, est ce que ce système de production est capable de valoriser les investissements de conservation des eaux et du sol? Est-il en mesure de rentabiliser le capital investi? Peut-on admettre qu'avec ces revenus le projet dégage un taux de rentabilité financière ou/et économique acceptable?. Cela fait l'objet de la quatrième partie de cette section.

Toutefois, nous signalons que nous traitons, dans ce travail, seulement la rentabilité financière (l'effet du projet sur l'exploitation). La rentabilité économique (l'effet du projet sur son environnement) peut faire l'objet d'une prochaine étude.

V/ Evaluation financière du projet

1/ Définition et spécificité[1]

"L'évaluation de projets peut apparaître comme un moyen ou même peut-être une synthèse entre l'approche planificatrice de type micro et macro-économique et la gestion prévisionnelle dans l'entreprise. Cette évaluation est toujours différentielle, elle n'est jamais universelle, c'est-à-dire qu'elle n'a de valeur ou de signification que dans le domaine des finalités visées" **(Houdayer R., 1993)**.

[1] *Pour plus de détails, voir R. HOUDAYER, Evaluation financière des projets, Economica, 1993. Cet ouvrage contient aussi une étude de cas détaillée.*

L'évaluation de projets peut exprimer le point de vue des agents ayant un pouvoir de décision sur la réalisation du projet, on parle alors de l'évaluation financière, comme elle peut exprimer le point de vue de la collectivité sur le projet et c'est l'évaluation économique.

Concernant l'évaluation financière, objet du présent travail, elle constitue une phase primordiale de l'étude d'un projet qui permet d'analyser si ce projet est viable, et dans quelles conditions, compte tenu des normes et contraintes qui lui sont imposées, et à partir des études techniques et commerciales déjà réalisées. Cette évaluation consiste à valoriser les flux résultant des études précédentes pour déterminer la rentabilité et le financement du projet. Elle exprime, ainsi, le point de vue des agents ayant un pouvoir de décision sur la réalisation du projet.

L'évaluation financière se décompose en trois grandes phases de travail:
* L'étude avant financement,
* L'étude du financement et de la trésorerie,
* La présentation définitive.

2/ Démarche générale de l'évaluation financière

La démarche d'évaluation suivie dans la présente étude est conforme à la méthode adoptée, en Tunisie, par l'Agence de Promotion des Investissements Agricole (APIA). Cette démarche consiste à rechercher:
* Les investissements
* Les amortissements et les renouvellements
* Le compte d'exploitation prévisionnel
* La rentabilité

A/ Les investissements

L'objectif est de construire un tableau contenant année par année les investissements à réaliser au cours de la durée de vie (ou d'étude) du projet. Pour cela, il nous semble mieux approprié de faire appel à une classification financière et non comptable de ces investissements. Cette classification est utile à la construction du tableau des investissements suivants:
- Les investissements initiaux, créés pour le démarrage du projet (début année 1), correspondent à la capacité de production prévue au départ.
- Les investissements d'expansion, destinés à accroître la capacité de production, au cours de la durée de vie du projet, interviennent en fonction des augmentations de capacité de production prévues.
- Les investissements de renouvellement, qui doivent être systématiquement calculés et intégrés par l'analyste financier, interviennent à la fin de la durée effective d'amortissement.

A cet égard, il serait intéressant de présenter, d'une part, les coûts d'investissements, et, d'autre part, le schéma de financement.

a/ Coût d'investissement

La réalisation du projet a nécessité des investissements de l'ordre de 569.880,22 DT aux prix constants de 1992. L'affectation de ce montant entre les différents types d'investissements se présente comme suit:

* Investissements initiaux	110.515,18 DT
* Investissements d'expansion	269.846,43 DT
* Investissements de renouvellement	189.518,61 DT

Par convention, nous supposons que les investissements ont été réalisés au début de leur exercice d'affectation.

b/ Schéma de financement

* Les investissements initiaux et d'expansion réalisés au niveau du projet ont été financés par la Communauté Economique Européenne (CEE) sous forme de don, mais pour des besoins d'analyse, on suppose qu'il s'agit d'un autofinancement ou d'un emprunt à long terme.
* Les investissements de renouvellement sont financés par des capitaux propres.

B/ Les amortissements et les renouvellements

"L'amortissement est la constatation comptable d'une dépréciation réalisée (ou prévue) périodiquement sur la durée de vie d'un équipement (ou toute autre immobilisation)" **(Houdayer R., 1993).**

Les techniques d'amortissements peuvent être classées en deux grandes catégories:
- La technique linéaire dont le taux est simplement calculé par le rapport 1/durée.
- La technique dégressive dont le taux est obtenu en multipliant le taux linéaire par un coefficient légal variable selon les durées.
Pour le présent travail, l'utilisation de la technique linéaire nous semble la mieux appropriée.

Ces amortissements sont établis sur la base de la durée de vie de chaque nature d'investissement (cf. tableau n°2.6 annexe II)

C/ Le compte d'exploitation prévisionnel

Le compte d'exploitation prévisionnel se caractérise par la présence de trois rubriques qui sont : le Revenu Brut d'Exploitation (R.B.E.) sans projet, le Revenu Brut d'Exploitation (R.B.E) avec projet et l'amortissement vu qu'il n'y a ni impôt ni charges financières (capitaux propres). La détermination de ce compte passe par les trois phases suivantes:

❶ Déterminer avec précision la situation de référence : dans cette phase, il convient de définir, la situation de référence appelée aussi situation sans projet (et non situation avant projet) qui servira de base pour sa comparaison avec la situation résultant de l'implantation du projet. La difficulté caractérisant ce moment de l'application de la méthode d'évaluation tient au fait que la situation de référence doit être évaluée sur la durée de vie du projet, c'est-à-dire à partir d'hypothèses reflétant son évolution. Bien que délicate, cette évaluation est indispensable pour faire apparaître les avantages (et les coûts) nets du projet.

Dans le présent travail et tout au long du projet nous avons choisi de maintenir la valeur de la situation de référence constante. Cette valeur est déterminée en faisant la moyenne pondérée, en dinar constant de 1992, des quatre dernières années avant projet (1986/1989). Les coefficients de pondération sont déterminés sur la base de la probabilité d'avoir une bonne, moyenne ou mauvaise année laquelle est à son tour déterminée à partir de la pluviométrie enregistrée au cours des trois dernières décennies.

* Pluviométrie ≤ 250 mm	année mauvaise	53%
* 250 <Pluviométrie ≤ 400 mm	année moyenne	34%
* Pluviométrie > 400 mm	année bonne	13%

Cette classification a été déterminée suite à une appréciation faite par le responsable de l'exploitation objet d'étude.

❷ Identifier la situation avec projet : elle consiste à déterminer le Revenu Brut d'Exploitation (R.B.E) avec projet. Cette situation est obtenue par le modèle de programmation multipériodique.

❸ Recenser les flux de trésorerie engendrés par le projet par rapport à la situation de référence. Cette phase consiste à déterminer le flux de trésorerie ou le résultat de l'exercice qui est représenté par la Marge Brute d'Autofinancement (MBA) ou par la Capacité d'Autofinancement (CAF) et non par le bénéfice comptable qui est calculé en intégrant des dotations (flux non monétaires). Cette marge brute est la différence entre le revenu brut d'exploitation avec projet et le revenu brut d'exploitation sans projet.
MBA= RBE avec projet -RBE sans projet

Tous les éléments indispensables sont en principe établis. Il peut simplement être nécessaire d'effectuer des reclassements de flux en fonction des décisions étudiées. Nous sommes parti normalement des tableaux d'investissements, de compte de résultats et des tableaux d'amortissement. La principale correction à apporter est l'élimination des flux fictifs qui ne donnent pas lieu à un mouvement de trésorerie.

D/ La rentabilité

La rentabilité est le point central de l'évaluation, avant ou après financement. Elle constitue l'objectif principal de l'évaluation. Elle consiste à évaluer l'impact du projet par le biais d'un certain nombre de critères définis à l'avance. Toutefois, il faut être attentif et ne pas commettre l'erreur de dissocier les critères de choix (ou d'acceptabilité) des projets de la décision elle-même. Cette dernière est toujours d'ordre politique, c'est-à-dire qu'elle implique un système de valeur alors que les critères relèvent d'un niveau "étude" qui reste du domaine purement technique (financier). C'est bien là le point central de l'évaluation : aider à la décision et non pas se substituer à elle.

3/ Les critères d'évaluation

Partant du concept général de rentabilité que nous avons déjà défini, nous essayerons d'examiner les principaux critères d'évaluation ainsi connus afin de sélectionner celui ou ceux qui nous semble le (les) mieux approprié(s).

Traditionnellement, les critères de choix sont classés en fonction d'un environnement type. Nous allons considérer deux cas:

* L'avenir simple, caractérisé par une prévision unique pour laquelle il est possible d'envisager des variantes techniques ou commerciales, considérées comme des sous-projets;
* L'avenir complexe, dans le cadre duquel plusieurs éventualités combinables sont envisagées, concernant le projet, son environnement, la personnalité du porteur.

Pour le présent travail, nous allons nous intéresser uniquement aux critères correspondant à un "avenir simple" tout en supposant que la plupart des éventualités externes (environnement du projet, personnalité du porteur,...) pourraient être maîtrisées.

A/ Le taux ponctuel de rentabilité

C'est le rapport bénéfice avant financement / capitaux permanents. Le bénéfice avant financement pourra être brut ou net. Les capitaux permanents sont représentés par la somme des immobilisations nettes et du besoin de fonds de roulement. Le reproche essentiel concernant l'utilisation de ce ratio est son incapacité à intégrer la dimension temporelle. Effectivement, dans la mesure où l'évaluation porte sur plusieurs années et où les résultats varient d'une période à l'autre, il n'est possible de travailler que sur des données moyennes ou des cumuls, ce qui est souvent inacceptable en cas de fortes variations.

B/ Le temps de récupération

C'est le temps que met le projet pour récupérer les sommes investies. Dans le cas le plus simple avec,
I = investissement initial
C = CAF (capacité d'autofinancement) annuelle (supposée constante),
le temps de récupération (année) est égal à I/C.

Le temps de récupération est un critère très utilisé, parce qu'il est très concret. Il privilégie le temps, ce qui peut être un élément majeur. Cela revient aussi à utiliser un taux d'actualisation très élevé, sans que l'on puisse préciser une valeur.
La critique majeure qui lui est souvent adressée c'est l'absence de toute prise en compte de la durée pendant laquelle l'investissement rapporte un revenu. Or, nous ne pouvons pas considérer de la même façon une rentabilité sur quatre ans ou sur dix ans.
Une autre critique plus sérieuse est que ce critère ne tient pas compte de la différence dans le temps des sommes récupérées tous les ans. Ce défaut correspond à l'absence de l'actualisation.
Ce critère est en définitive assez intéressant, mais son défaut essentiel celui de manquer de nuance. Il conviendrait donc de rechercher un autre critère mieux approprié.

C/ Le Flux Net de Trésorerie Actualisé (FNTA) ou Valeur Actuelle Nette (VAN) et le Taux de Rentabilité Interne

Avec ces deux critères, nous touchons la base des indicateurs les plus sophistiqués trouvés actuellement. Ces deux critères, quoique demandant une grande quantité d'information, apparaissent méthodologiquement les mieux adaptés à l'évaluation du présent projet. La détermination de ces deux critères se base, comme nous l'avons signalé, sur un bon choix du taux d'actualisation. Pour notre étude, nous avons fixé ce taux à 7%.

4/ Présentation des résultats de l'évaluation financière

Tableau n°16 : Rentabilité du projet (Unité: DT)

Année	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)
1990	8985,72	24179,53	15193,81	110515,18
1991	8397,87	121708,47	113310,60	117224,42
1992	7848,48	83957,35	76108,87	77300,20
1993	7335,02	67926,90	60591,88	24593,19
1994	6855,16	84333,38	77478,22	19673,23
1995	6406,69	85887,35	79480,66	35793,10
1996	5987,56	74694,14	68706,58	21403,01
1997	5595,85	67974,34	62378,49	12216,61
1998	5229,77	64082,73	58852,96	8954,33
1999	4887,64	59267,31	54379,67	2318,92
2000	4567,88	66878,48	62310,60	34532,74

Source: Elaboration personnelle

VAN ou FNTA	31 355,96 DT

TRI	8,42%

D'après le tableau ci-dessus, on peut conclure qu'avec un taux d'actualisation de 7% et selon les éléments pris en considération dans le calcul de ces deux critères de rentabilité, le projet est acceptable, rentable et finançable. En effet, le caractère positif, d'une part, de la valeur actualisée nette, et d'autre part, de la différence entre le taux de rentabilité interne et le taux d'actualisation choisi, indique que le projet est intéressant, puisqu'il dégage un supplément de revenu sur la mise initiale (situation de référence). La comparaison de ce projet d'investissement, sur une période de 11 ans, avec une opération de placement de 7%, dégage un surplus de l'ordre de 31.355,96 DT.

Cette rentabilité peut même atteindre des niveaux plus importants surtout quand on sait que les effets externes positifs induits par le projet ne sont pas "internalisés". En effet, une grande partie des externalités positives aussi bien quantitatifs (recharge de la nappe, la diminution des pertes en sol, protection des barrages contre l'envasement...) que qualitatifs (amélioration de la faune et du flore,...) n'est pas prise en considération dans le calcul de ces deux critères d'évaluation. Malheureusement, la valorisation de ces effets constitue l'ambition principale de l'évaluation économique et non de l'évaluation financière. L'évaluation économique, qui peut faire l'objet d'un prochain travail, cherche essentiellement à valoriser les effets du projet sur son environnement afin de les intégrer aux différents critères de décision.

Cependant, la détermination de cette rentabilité est sensible à un certain nombre de variables qu'il serait utile d'identifier.

5/ Analyse de sensibilité

Nous commençons par l'examen les différents scénarios et hypothèses ainsi envisagés, ensuite nous compléterons par l'analyse de la rentabilité de chacune de ces hypothèses.

A/ Présentation des scénarios

Afin de déterminer le degré de sensibilité de ces critères de rentabilité et de donner plus de représentativité à notre travail, nous avons développé cette phase. Elle repose sur la recherche des variables-clés, qui ont une influence significative sur la finalité du projet. Elle consiste donc à préciser " à quoi le projet est le plus sensible", de manière à, dès le départ, faire face à toute modification pouvant survenir sur les éléments les plus déterminants.

Cette étude de sensibilité doit donc porter sur les différentes variables qui peuvent influencer de près ou de loin la rentabilité et la finalité du projet. Avec cette analyse, nous essayerons de déterminer indirectement la rentabilité et la finalité d'autres projets types.

Pour le présent travail, nous avons sélectionné uniquement trois variables qui nous semblent les plus sensibles à une telle variation. Ces variables sont : le taux d'actualisation, la situation de référence, le coût et le schéma d'investissement.

Concernant le taux d'actualisation, étant donné qu'il constitue le principal déterminant pour calculer les critères de rentabilité, nous avons essayé de tester deux taux différents.
❶ Taux d'actualisation de 7%.

❷ Taux d'actualisation de 10%: comme nous l'avons déjà évoqué, le choix de ce taux a été basé sur le taux d'intérêt long terme à prix constant. Cependant, puisque ce dernier varie aussi, nous avons préféré tester ce deuxième taux. Le choix de 10% ressort du fait qu'il constitue le taux d'intérêt maximum ainsi enregistré.

Pour ce qui est de la situation de référence, nous avons supposé les deux cas suivants:
❶ Le revenu brut d'exploitation reste constant sur toute la durée de vie du projet.
❷ Le revenu brut n'est plus constant mais diminue chaque année de 1%. En effet, comme nous l'avons déjà montré, l'absence des travaux de C.E.S. entraîne une diminution des rendements ce qui va influencer évidemment le revenu global.

Quant aux investissements, nous avons proposé trois différents cas:
❶ Le projet est totalement autofinancé (capitaux propres)
❷ 30% de la composante C.E.S. sont subventionnés par l'Etat relative à la promotion pour la réalisation des travaux de conservation des eaux et du sol.
❸ Le projet est classé, selon le nouveau code d'investissement, dans la catégorie "C", il peut, donc, bénéficier de 20% de subvention sur la totalité de ses composantes. Toutefois, cette subvention ne concerne que les investissements initiaux et d'expansion.

La combinaison et la superposition de ces différents cas ainsi que leurs résultats sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau n° 17 : Récapitulation des différentes valeurs de V.A.N. et de T.R.I.

Scénarios	Hypothèses	Conditions	V.A.N. (D.T.)	T.R.I. (%)
Scénario 1	Hypothèse 1	* Taux d'actualisation = 7% * R.B.E sans projet constant * Pas de subvention à l'investissement	31355,96	8,42
	Hypothèse 2	* Taux d'actualisation = 7% * R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année * Pas de subvention à l'investissement	33085,37	8,50
Scénario 2	Hypothèse 1	* Taux d'actualisation = 10% * R.B.E sans projet constant * Pas de subvention à l'investissement	-27593,98	8,42
	Hypothèse 2	* Taux d'actualisation = 10% * R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année * Pas de subvention à l'investissement	-26413,09	8,50
Scénario 3	Hypothèse 1	* Taux d'actualisation = 7% * R.B.E sans projet constant * 30% de la composante C.E.S. est subventionnée	52659,07	9,48
	Hypothèse 2	* Taux d'actualisation = 7% * R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année * 30% de la composante C.E.S. est subventionnée	54388,49	9,56
Scénario 4	Hypothèse 1	* Taux d'actualisation = 10% * R.B.E sans projet constant * 30% de la composante C.E.S. est subventionnée	-7656,55	9,48
	Hypothèse 2	* Taux d'actualisation = 10% * R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année * 30% de la composante C.E.S. est subventionnée	-6475,66	9,56
Scénario 5	Hypothèse 1	* Taux d'actualisation = 7% * R.B.E sans projet constant * Projet catégorie "C" bénéficie de 20% de subvention.	96646,84	11,95
	Hypothèse 2	* Taux d'actualisation = 7% * R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année * Projet catégorie "C" bénéficie de 20% de subvention.	98376,25	12,02
Scénario 6	Hypothèse 1	* Taux d'actualisation = 10% * R.B.E sans projet constant * Projet catégorie "C" bénéficie de 20% de subvention.	33848,31	11,95
	Hypothèse 2	* Taux d'actualisation = 10% * R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année * Projet catégorie "C" bénéficie de 20% de subvention.	35029,19	12,02

Source: Elaboration personnelle à partir des tableaux d'évaluation financière

B/ Présentation et analyse des résultats de sensibilité

La lecture des différents résultats enregistrés dans le tableau ci-dessus nous a permis de dégager les divers points suivants[2] :

* L'augmentation du taux d'actualisation a provoqué, dans tous les scénarios étudiés, une diminution de la valeur actualisée nette (VAN) et par conséquent de la rentabilité du projet. Cette diminution peut même entraîner, en absence de subventions, la non acceptation du projet (Scénario). Le choix, donc, du taux d'actualisation peut influencer d'une manière considérable la prise de décision. Il peut rendre non rentable et non finançable un projet que nous l'avons jugé acceptable et rentable avec un autre taux d'actualisation. Cependant, puisque ce taux est déterminé en fonction du taux d'intérêt à long terme, il serait préférable, afin de promouvoir ce type du projet, de fixer ce taux d'intérêt à un niveau faible. Une bonification des taux d'intérêt sur les crédits bancaires serait d'une grande utilité pour lancer des projets types.

* L'octroi d'une subvention de 30% sur la composante C.E.S. a entraîné une augmentation aussi bien de la valeur actualisée nette que du taux de rentabilité interne (Scénarios 3 et 4). Malgré sa faiblesse, cette augmentation est acceptable pour promouvoir le centre de décision à élargir et développer les composantes du projet. En effet, la subvention permet non seulement l'amélioration de la rentabilité présente du projet, mais aussi l'incitation des dirigeants à lancer des nouveaux investissements afin de mieux valoriser le capital ou le support foncier existant.

Toutefois, il faut noter que, malgré la présence de cette subvention, le projet n'est pas rentable avec un taux d'actualisation de 10% (Scénario 4), ce qui explique bien que ce type de projet doit généralement bénéficier des crédits subventionnés.

* L'octroi d'une subvention de 20% sur le montant des investissements initiaux et d'expansion a causé une augmentation importante aussi bien de la valeur actualisée nette que du taux de rentabilité interne (Scénario 5 et 6). Cette augmentation peut constituer un élément majeur pour encourager des investissements types.

* La diminution de la valeur de la situation de référence a provoqué une augmentation des deux critères d'évaluation (VAN et TRI).

Cependant, malgré le fort impact de chacune de ces variables, nous n'avons pas enregistré une baisse considérable du taux de rentabilité interne. Son intervalle de variation se situe entre 8,42% et 12,25% avec une moyenne de 10,05% et un écart type de 1,56%. Ce qui explique bien qu'avec ce système de production le projet arrive à soulever des niveaux de rentabilité assez acceptable, malgré la nécessité dans certains cas d'un crédit subventionné financé par les pouvoirs publics, premier responsable d'assurer la conservation et la préservation des ressources naturelles indispensables pour les générations actuelles et futures.

VI/ Conclusion

A travers ce parcours, on retient qu'avec ce système de production, le taux d'actualisation de 7% et les conditions ainsi décrites, le projet peut dégager un revenu capable de valoriser et rentabiliser le capital investi. En effet, comparé à un placement de 7%, le projet arrive à dégager un surplus de 31.355,96 DT sur une période de 11 ans.

[2] *Toutes les comparaisons sont faites par rapport au sénario 1, hypothèse 1.*

Cependant, ce niveau acceptable de rentabilité est suivi d'une évolution spectaculaire de l'érosion passant de 15474 T en 1992 à 32895 T en 2000, soit une augmentation de l'ordre de 52%, ce qui explique bien que la recherche d'une maximisation du profit sans tenir compte des aspects environnementaux peut entraîner des dégâts considérables sur ce dernier. En effet, la recherche d'un système de production permettant la valorisation de ces investissements de C.E.S., peut conduire de nouveau à une détérioration de la ressource sol. Par conséquent, il serait judicieux de trouver une solution optimale aussi bien du point de vue économique qu'environnemental, c'est-à-dire une solution moins érosive et qui dégage en même temps un niveau de rentabilité acceptable. Cela fait l'objet de la deuxième section du présent chapitre.

Section 2 : Les résultats du modèle multicritère

I/ L'approche multicritère

La recherche d'un système de production qui permet de rentabiliser cette intervention publique par les travaux de C.E.S., tout en respectant les aspects environnementaux, nous conduit à adopter une approche multiobjectif. Cette approche qui consiste à optimiser simultanément plusieurs objectifs permet de déterminer le "*trade off*" entre la rentabilité économique et l'efficacité environnementale de ce projet public, étant donné que le résultat obtenu par le modèle de base nous paraît insuffisant dans la mesure où il ne tient compte que des aspects économiques.

L'utilisation de cette approche multiobjectif, dans la présente étude, sera basée essentiellement sur la méthode NISE complétée par la méthode des compromis. Cette méthode consiste à combiner les objectifs en une seule fonction objectif et à chacun des objectifs on associe un coefficient de pondération.

Cependant, afin de déterminer ces coefficients de pondération, nous allons essayé d'appliquer cette méthode uniquement pour la situation initiale (1992). Ensuite, une fois que nous avons déterminé ces coefficients, nous débuterons la simulation pour le reste des années.

II/ Application de l'approche multicritère.

La détermination de la matrice "p*ay-off*" constitue le point de départ de toute analyse multiobjectif. Cette matrice, appelée aussi matrice de gain, consiste à optimiser chacun des objectifs séparément tout en calculant la valeur que prend l'autre objectif dans chacune des solutions optimales (cf.: Tableau n°5.2). Elle nous indique le point idéal et le point anti-idéal *("nadir")* de chaque objectif ainsi que leurs intervalles de variation tout en facilitant le degré de conflit qui les caractérise **(Zekri S., Dridi N. et Lara P., 1994).**

Tableau n°18 : Matrice de *"pay-off"* de la situation initiale (1992)

Objectifs	Maximiser le revenu net espéré	Minimiser l'érosion
Revenu net espéré (D.T.)	59799	-31758
Erosion (T)	14087	2921

Source: résultats du modèle

La première lecture de cette matrice de *"pay-off"*, nous a permis de remarquer le grand conflit existant entre les deux objectifs. En effet, le revenu net prend sa valeur minimale lorsqu'on cherche à optimiser l'objectif érosion et vice versa. La solution idéale qu'il est impossible de réaliser est déterminée par la diagonale de la présente matrice, c'est-à-dire 59799 D.T., avec un niveau d'érosion de l'ordre de 2921 T.

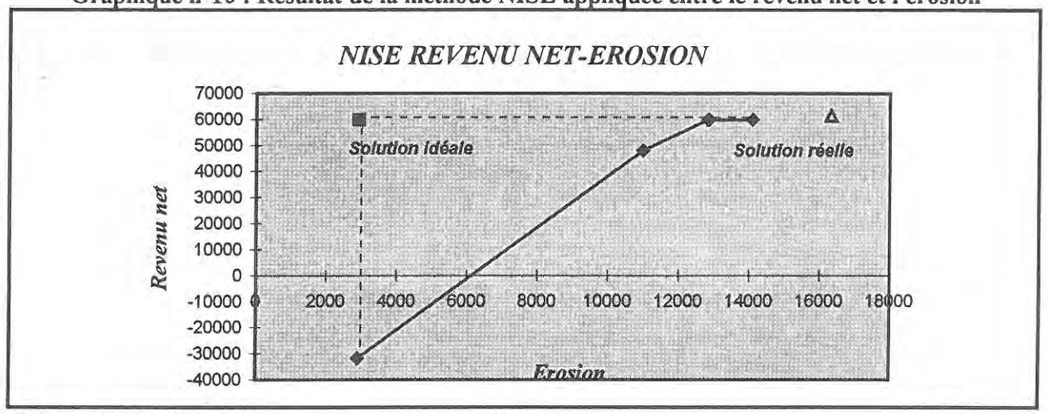
L'existence de ces conflits nous a conduit à appliquer l'approche multicritère, afin de déterminer *la solution optimale au sens de Pareto*, une solution pour laquelle il n'est plus possible d'améliorer la valeur d'un objectif sans être obligé de réduire celle de l'autre.

1/ La méthode NISE *(No Inferior Set Estimation)*

Afin d'éviter l'inconvénient de la méthode de pondération qui se base sur un choix au hasard des coefficients de pondération relative aux objectifs à optimiser, nous avons utilisé la méthode NISE. Cette méthode, comme nous l'avons déjà signalé dans le chapitre précédent, se base dans son choix des coefficients sur une relation qui unit le rapport de ces coefficients à la pente de la droite qui relie les points extrêmes efficients.

L'application de cette méthode, dans le présent travail, nous a permis en partant des deux solutions extrêmes efficientes d'obtenir huit autres points extrêmes efficients (cf.: annexe II). Ces nouveaux points extrêmes efficients sont caractérisés essentiellement par un niveau d'érosion élevé. Ceci peut être expliqué par le nombre réduit des techniques que nous avons simulé. En effet, on aurait dû simuler quelques techniques douces de C.E.S. à savoir les techniques de labour (labour "en courbe de niveau", labour "dans le sens de pente").

Graphique n°10 : Résultat de la méthode NISE appliquée entre le revenu net et l'érosion



Source: résultats du modèle

Cependant, vu la multitude de solutions extrêmes efficientes, une sélection s'impose afin de restreindre l'espace des solutions possibles et de faciliter la tâche dans la prise de décision.

Pour cela, nous avons adopté la méthode du compromis qui 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 le centre de décision va s'orienter.

2/ La méthode de compromis (*Compromise Programming)*

Introduite par Zelny en 1982 afin d'aider le décideur dans le choix entre les multiples solutions optimales obtenues par la méthode NISE, cette méthode se base essentiellement sur le concept de la fonction distance (Théorème de distance ou Pythagore).

$$\text{Min } L_p(Z) = \left[\sum W^p{}_j \; \left| (Z^*{}_j - Z_j(x)) / (Z^*{}_j - Z*_j) \right|^p \right]^{1/P}$$

sujet a $X \in F$

Avec: W_{j*}: *Le poids affecté à la J^ienme objectif.*
Z^*_j *: La valeur de la solution idéale pour la J^ienme objectif.*
Z_{*j}: *La valeur de la solution nadir pour J^ienme objectif.*
P *: Paramètre variant du* $[1, \infty[$
$X \in F$: *Les contraintes du problème considéré.*

Cependant, si on calcule uniquement L_1 et L_∞, on peut déterminer l'ensemble des points efficaces les plus proches de l'idéal **(Romero C., Rehman T., 1989).**

* Dans le cas de L_1 (p=1), on cherche à minimiser la somme des déviations, c'est-à-dire:

$$\text{Min } L_1(Z) = \left[\sum W_j \left| (Z^*_j - Z_j(x)) / (Z^*_j - Z_{*j}) \right| \right]$$

* Pour le cas de L_∞ ($p \to \infty$), on cherche à minimiser la déviation maximale **(D)**:

Min **D**
S/C

$$W_j \left| (Z^*_j - Z_j(x)) / (Z^*_j - Z_{*j}) \right| \leq D$$

L'application de cette méthode va nous permettre donc, en faisant varier les coefficients de pondération, de sélectionner l'ensemble des points qui ont les distances les plus proches de l'idéal.

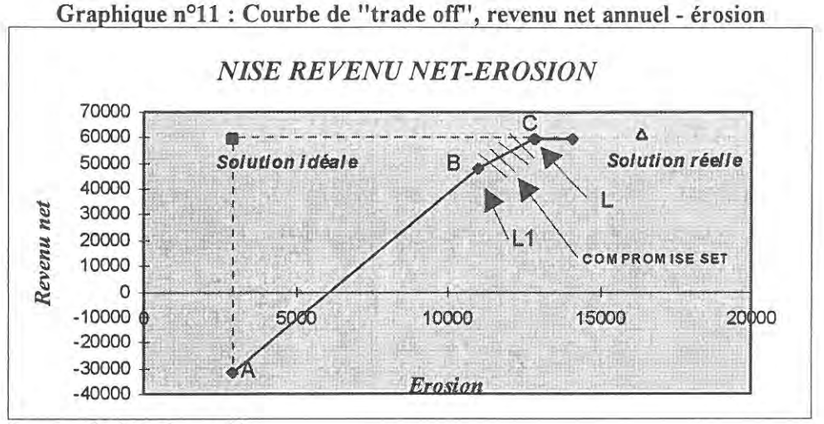
Dans le présent travail, l'utilisation de ce type de programmation nous a permis, suite aux multiples simulations effectuées, de déterminer un intervalle de solutions *"compromise set"* qui nous semble le plus proche de la solution idéale. Ces simulations sont basées essentiellement sur l'objectif économique, étant donné qu'avec n'importe quel coefficient de pondération, le modèle nous donne une limite inférieure de cet intervalle située au point B, ce qui explique bien qu'avec ces techniques de production, il est très difficile de se rapprocher du niveau optimal d'érosion.

Ainsi, l'intervalle retenu est obtenu en affectant à l'objectif économique un coefficient quatre fois plus important que celui du second objectif.

Cet intervalle est compris entre L_1 (12651 ; 59709,86) et L_∞ (12824 ; 59729,78), ce qui correspond à une variation relative au revenu net par rapport à la solution idéale, (obtenu par le modèle de base) de -0,15% à -0,11% et d'une variation relative à l'érosion de 76% à 78%.

Dans cet intervalle, le coût d'une unité d'érosion réduite est de 0,11 D.T. En effet, le passage du point L_1 à L_∞ implique une réduction du revenu net par 20 D.T. et une diminution de l'érosion par 173 T.

Graphique n°11 : Courbe de "trade off", revenu net annuel - érosion



Source: résultats du modèle

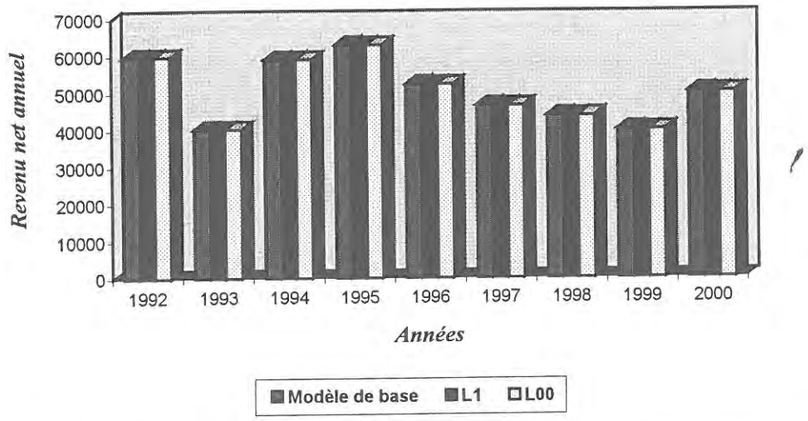
Le système de production ainsi généré par cette méthode de compromis se caractérise essentiellement par une orientation vers la plantation des arbustes fourragers avec une superficie de l'ordre de 699 ha pour L_1 et 576 ha pour L_∞ , et la culture des céréales en particulier le blé dur (395 ha pour L_1 et 520 ha pour L_∞) en extensif. Par contre, pour les cultures fourragères, le modèle choisit uniquement le médicago et le sulla avec une superficie respective de 96 ha et de 65 ha pour L_1 et 80 ha et 95 ha pour L_∞ .

Cette orientation du système de production explique bien le conflit entre les deux objectifs. En effet, pour satisfaire l'objectif économique, le modèle choisit les cultures céréalières (blé, orge) dont la marge brute est assez importante et les arbustes fourragers qui assurent une meilleure alimentation avec un minimum de coût. Par contre, pour répondre à l'objectif environnemental, il choisit de nouveau les arbustes fourragers et certaines cultures fourragères dont le niveau d'érosion correspondant est faible.

III/ Analyse des résultats obtenus par l'approche multicritère.

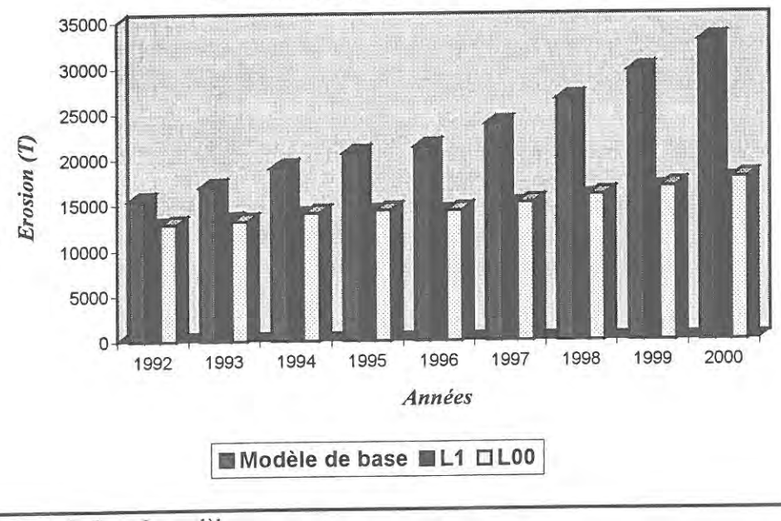
Une fois les coefficients de pondération déterminés, nous débuterons la simulation par la recherche des deux objectifs simultanément (revenu net et érosion) sur l'ensemble des horizons de planification. Les résultats obtenus sont regroupés dans les graphiques suivants.

Graphique n°12 : Variabilité de L1 et L00 par rapport à la solution de base en terme des revenus net annuel



Source: résultats du modèle

Graphique n°13 : Variabilité de L1 et L00 par rapport à la solution de base en terme d'érosion



Source: résultats du modèle

Le principal aspect à remarquer, à partir de la lecture de ces deux graphiques, est la forte convergence des différentes solutions en terme du revenu net, suivie d'une variabilité assez importante du côté érosion. Ce qui explique bien que les systèmes de production et en particulier les systèmes de culture ainsi obtenus par L1 et L∞ sont capables de restreindre considérablement l'atteinte à l'environnement pour des faibles baisses des revenus nets.

En outre, avec un taux d'actualisation de 7% et selon les mêmes conditions appliquées pour évaluer la rentabilité du projet (RBE sans projet constant et pas de subvention à l'investissement), les solutions L1

et L∞ arrivent à dégager un niveau de rentabilité très proche de celui engendré par la solution de base, mais avec un niveau d'érosion beaucoup plus bas (cf: tableau n°19). Ceci indique qu'avec ces systèmes de production l'entrepreneur arrive à valoriser et rentabiliser le capital investi tout en tenant compte de la future atteinte à l'environnement qui peut être causée par celui-ci.

Tableau n°19 : Variabilité de L1 et L∞ par rapport à la solution de base en terme du TRI et VAN (DT)

	Solution de base	L1	L∞
Taux de rentabilité interne (TRI)	8,42%	8,38%	8,39%
Valeur actualisée nette (VAN)	31.555,96	30.439,86	30.646,49

Source: Elaboration personnelle

L'application de cette approche nous a permis, donc, de fournir au centre de décision de l'exploitation objet d'étude, un ensemble des solutions efficientes qui tiennent compte aussi bien des critères économiques qu'environnementaux, étant donné que la solution réelle n'est pas en mesure de répondre à ces deux objectifs.

En effet, la recherche toujours croissante de la maximisation du profit et de la satisfaction des besoins du marché a fait naître une ignorance totale des problèmes environnementaux qui peuvent en résulter. Par conséquent, il est possible d'après ces solutions de *"compromise set"* de remédier à la situation qui prévalait sans pour autant porter atteinte aux résultats économiques, bien au contraire, on fournit les moyens de préserver le patrimoine terre. Ces moyens sont essentiellement basés sur un bon choix du système de production. Un choix qui permet de rentabiliser les investissements engagés tout en tenant compte des aspects environnementaux.

Conclusion générale

Partout dans le monde, l'intérêt porté à la conservation des eaux et du sol s'accroît à fur et à mesure que les populations prennent davantage conscience des dégâts causés par des pratiques culturales incompatibles avec les conditions du milieu et l'exploitation destructive des parcours et des forêts.

La Tunisie a prêté une attention particulière à ce problème et a adopté, depuis l'indépendance, des programmes de lutte anti-érosive qui prévoient diverses mesures de protection. Ces programmes cherchent essentiellement la reconstitution de la fertilité, l'amélioration de la productivité et la maîtrise correcte des ressources agricoles.

Les capitaux investis pour la réalisation de ces programmes sont devenus, au fil des années, de plus en plus importants, alors que les résultats restent encore presque inconnus. En effet, on relève l'absence des résultats de la recherche et des référentiels portant sur les performances de ces techniques.

Afin de contribuer à l'enrichissement de notre expérience dans ce domaine, nous avons développé la présente recherche.

Avec cette étude, notre objectif principal a été d'évaluer quantitativement l'impact de ces aménagements sur le rendement et sur le système de production pour la partie économique et sur l'érosion en ce qui concerne l'environnement.

Le support méthodologique que nous avons adopté a été basé sur l'utilisation d'un modèle bio-économique. Ce type de modèle, appliqué à une échelle micro-économique, nous a permis de parvenir, en intégrant les données sur ces aménagements, à une vision intégrée des systèmes de production sous ses divers aspects.

Le premier défi, qui nous était posé, consiste à déterminer et à quantifier l'efficacité des aménagements, d'une part, sur les rendements et, d'autre part, sur les pertes du sol. La construction du modèle de simulation de croissance des plantes, permet cette quantification. Les résultats obtenus montrent une amélioration assez importante des rendements et une réduction de l'érosion. En effet, pour une même technique, des conditions climatiques identiques et avec deux types de sol d'origine également identiques, seul l'un a bénéficié des aménagements et l'autre non, l'amélioration des rendements est de l'ordre de 121% et la réduction de l'érosion est de 200%. Cependant, nous voulons signaler que ces résultats sont spécifiques à l'entité objet d'étude, mais peuvent être généralisés sur les fermes types à savoir la "ferme Jbibina" (gouvernerat de Zaghouan).

Le deuxième défi était d'intégrer ces résultats dans une analyse du comportement du producteur agricole. Une intégration par laquelle on arrive, d'une part, à déterminer l'effet de ces aménagements sur le système de production et sur la vie économique et environnementale de l'exploitation et, d'autre part, à rechercher un système de production qui soit bénéfique aussi bien du côté économique qu'environnemental. La construction d'un modèle d'optimisation économique permet cette intégration. L'utilisation d'un modèle de base avec une fonction objectif de type néoclassique (maximisation du revenu net) parvient à quantifier l'efficacité de ces aménagements en simulant l'évolution, au fil des années, du revenu et de l'érosion alors que l'utilisation d'un modèle multicritère parvient à déterminer la solution optimale aussi bien d'un point de vue économique qu'environnemental.

Les résultats obtenus par le modèle de base marquent une amélioration assez remarquable du revenu net pour les premières années de simulation (1992-1995) suivie d'une légère baisse pour le reste des années. Cette baisse est expliquée essentiellement par la diminution de la marge brute animale. Toutefois,

malgré cette baisse, ces aménagements arrivent à soulever, sur une période de 11 ans et avec ces revenus, un niveau de rentabilité économique et/ou financière acceptable. En effet, avec un taux d'actualisation de 7% et selon des conditions bien spécifiques, ces aménagements dégagent un taux de rentabilité interne de l'ordre de 8,42% soit un surplus de 31355,96 DT comparé à un placement de 7%. Ce qui explique qu'avec ce système de production l'entrepreneur peut valoriser et rentabiliser le capital investi.
En outre, connaissant bien la forte sensibilité de ce type de projet au choix du taux d'actualisation, nous avons testé deux taux différents (7% et 10%). Les résultats obtenus montrent que le taux de rentabilité interne varie de 8,42% à 12,25%, soit une moyenne de 10,05%. Ceci confirme bien que ce projet de conservation des eaux et du sol est assez acceptable, malgré la nécessité dans certains cas, d'un crédit subventionné qu'il est possible d'octroyer n'est pas très difficile, surtout si les pouvoirs publics veulent assurer une équité intergénérationnelle.

Cependant, le niveau acceptable de rentabilité engendré par ce système de production est suivi d'une augmentation spectaculaire de l'érosion qui passe, au bout de dix ans, de 15685 T à 32895 T, soit une évolution de l'ordre de 52%. Cela explique bien que la recherche croissante à maximiser le profit à court terme et à subvenir aux besoins du marché a fait naître une absence totale des conséquences environnementales qu'elles peuvent induire.

Afin de parvenir à cette situation, nous nous trouvons dans l'obligation de chercher un système de production qui soit bénéfique à la fois du point de vue économique et environnemental : un système de production qui dégage le maximum de profit avec le minimum d'érosion. Pour cela, nous avons construit un modèle mathématique multicritère. La méthode retenue pour la construction de ce modèle, était basée sur la méthode NISE complétée par la méthode des compromis.

L'application de cette méthode nous a permis de trouver des systèmes de production qui restreignent considérablement l'atteinte à l'environnement pour des faibles baisses du taux de rentabilité économique et/ou financière. Les solutions donnant ces systèmes de production sont comprises dans un intervalle *"compromise set"* dont les limites sont L_1 et L_∞ et dont les coordonnées respectives sont (12651 ; 59709,86) et (12824 ; 59729,78) soit une variation, relative au revenu net, par rapport à la solution idéale, (obtenu par le modèle de base) de -0,15% à -0,11% et d'une variation relative à l'érosion de 76% à 78%.

Cependant, malgré tous les avantages obtenus par notre application de ce type de modèle bio-économique, nous sommes conscients de ses limites. N'ayant pu tenir compte de tous les facteurs, nous tenterons de les introduire et de les développer dans un prochain travail.

La première limite est liée au modèle biophysique. Afin de simplifier l'application de ce modèle, nous avons choisi uniquement deux techniques, ce qui conduit à trouver un nombre limité de points extrêmes efficients situés en grande partie sur deux demi-droites.

La deuxième limite touche le modèle économique: bien que le modèle soit récursif, nous n'avons pas tenu compte de la réalisation des nouveaux investissements en matière de C.E.S., ce qui peut influencer les résultats, surtout sur le long terme.

En outre, le besoin de centrer la recherche sur l'évaluation quantitative des aménagements C.E.S., nous a fait oublier de traiter l'efficacité de chaque technique séparément. Ceci peut être intéressant lors de la sélection des meilleures techniques à adopter pour les projets futurs.

Enfin, la dernière limite est d'ordre général. En tant que modèle individuel, les résultats obtenus restent spécifiques à l'entité étudiée et par conséquent, il n'est pas possible de les généraliser sur l'ensemble du territoire. Ils peuvent être valables uniquement pour les fermes types à savoir la "ferme Jbibina" qui a presque le même statut que la ferme objet d'étude.

Annexes

1 - Caractérisation agricole de la ferme Sawaf
2 - Evaluation du projet
3 - Listes des tableaux et des graphiques du texte
4 - Listes des sigles
5 - Le modèle économique (Celui-ci ne figure pas dans cette édition mais il peut être disponible auprès de Mr. Guillermo Flichman à L'IAM. Flichman@iamm.fr)

Liste des tableaux et des graphiques en annexes

Annexe I : Caractérisation agricole de la ferme sawaf

Tableau n° 1.1: Caractéristiques du climat (1985-1994). 97
Tableau n° 1.2: Caractéristiques du sol. 97
Tableau n° 1.3: Evolution de l'occupation du sol. 98
Tableau n° 1.4: Disponibilités alimentaires << Ferme Sawaf >>. 98
Graphique n° 1: Evolution de la superficie. 99
Graphique n° 2: Evolution de l'occupation du sol. 99
Graphique n° 3: Evolution de l'effectif ovin. 99
Graphique n° 4: Evolution des marges brutes végétales 100
Graphique n° 5: Evolution des marges brutes animales. 100
Graphique n° 6: Evolution du RBE et RNE. 100
Tableau n° 1.5: Evolution de la marge brute végétale. 101
Tableau n° 1.6: Marges brutes des cultures campagne 90-91. 102
Tableau n° 1.7: Marges brutes des cultures campagne 91-92. 102
Tableau n° 1.8: Marges brutes des cultures campagne 92-93. 103
Tableau n° 1.9: Marges brutes des cultures campagne 93-94. 103
Tableau n° 1.10: Evolution des marges brutes globales en dinars courant. 104
Tableau n° 1.11: Evolution des résultats globales en dinars courant. 104

Annexe II : Evaluation du projet

Tableau n° 2.1: Nature des investissements et calendrier des réalisations (dinars courants). 105
Tableau n° 2.2: Coûts et échéanciers des investissements en C.E.S. et amélioration pastorale. 105
Tableau n° 2.3: Tableau d'amortissement (sans renouvellement). 106
Tableau n° 2.4: Tableau d'amortissement (avec renouvellement). 107
Tableau n° 2.5: Pluviométrie annuelle entre 1963-1995. 108
Tableau n° 2.6: Répartition de la pluviométrie. 108
Tableau n° 2.7: Indice général des prix à la consommation familiale. 109
Tableau n° 2.8: Evolution du revenu brut d'exploitation avant projet. 109
Tableau n° 2.9: Evaluation financière: SCENARIO 1. 110
Tableau n° 2.10: Evaluation financière: SCENARIO 2. 111
Tableau n° 2.11: Evaluation financière: SCENARIO 3. 112
Tableau n° 2.12: Evaluation financière: SCENARIO 4. 113
Tableau n° 2.13: Evaluation financière: SCENARIO 5. 114
Tableau n° 2.14: Evaluation financière: SCENARIO 6. 115
Tableau n° 2.15: Evaluation financière: L1 et L∞. 116

Liste des tableaux et des graphiques en annexes

Annexe I : Caractérisation agricole de la ferme sawaf

Tableau n° 1.1: Caractéristiques du climat (1985-1994). 97
Tableau n° 1.2: Caractéristiques du sol. 97
Tableau n° 1.3: Evolution de l'occupation du sol. 98
Tableau n° 1.4: Disponibilités alimentaires << Ferme Sawaf >>. 98
Graphique n° 1: Evolution de la superficie. 99
Graphique n° 2: Evolution de l'occupation du sol. 99
Graphique n° 3: Evolution de l'effectif ovin. 99
Graphique n° 4: Evolution des marges brutes végétales 100
Graphique n° 5: Evolution des marges brutes animales. 100
Graphique n° 6: Evolution du RBE et RNE. 100
Tableau n° 1.5: Evolution de la marge brute végétale. 101
Tableau n° 1.6: Marges brutes des cultures campagne 90-91. 102
Tableau n° 1.7: Marges brutes des cultures campagne 91-92. 102
Tableau n° 1.8: Marges brutes des cultures campagne 92-93. 103
Tableau n° 1.9: Marges brutes des cultures campagne 93-94. 103
Tableau n° 1.10: Evolution des marges brutes globales en dinars courant. 104
Tableau n° 1.11: Evolution des résultats globales en dinars courant. 104

Annexe II : Evaluation du projet

Tableau n° 2.1: Nature des investissements et calendrier des réalisations (dinars courants). 105
Tableau n° 2.2: Coûts et échéanciers des investissements en C.E.S. et amélioration pastorale. 105
Tableau n° 2.3: Tableau d'amortissement (sans renouvellement). 106
Tableau n° 2.4: Tableau d'amortissement (avec renouvellement). 107
Tableau n° 2.5: Pluviométrie annuelle entre 1963-1995. 108
Tableau n° 2.6: Répartition de la pluviométrie. 108
Tableau n° 2.7: Indice général des prix à la consommation familiale. 109
Tableau n° 2.8: Evolution du revenu brut d'exploitation avant projet. 109
Tableau n° 2.9: Evaluation financière: SCENARIO 1. 110
Tableau n° 2.10: Evaluation financière: SCENARIO 2. 111
Tableau n° 2.11: Evaluation financière: SCENARIO 3. 112
Tableau n° 2.12: Evaluation financière: SCENARIO 4. 113
Tableau n° 2.13: Evaluation financière: SCENARIO 5. 114
Tableau n° 2.14: Evaluation financière: SCENARIO 6. 115
Tableau n° 2.15: Evaluation financière: L1 et L∞. 116

Annexe I : Caractérisation agricole de la ferme sawaf

Tableau n°1.1 : Caractéristiques du climat (1985-1994)

	Température (°c) Moy. maximale	Moy. minimale	Précipitation Moyen.	mm	n°jour	R. solaire	Vitesse du vent (m/s)
Janv.	15,3	4,92	9,98	44,16	8,16	193	3,16
Fev.	16,2	5,30	10,70	47,03	8,70	293	6,00
Mars	18,41	6,86	12,63	51,54	8,50	351	2,96
Avril	21,88	8,42	15,15	40,98	7,00	455	3,80
Mai	26,42	12,85	19,63	27,67	6,40	507	2,94
Juin	30,96	15,57	23,27	4,68	0,80	588	4,19
Juillet	33,37	19,91	26,60	3,22	1,00	587	2,39
Aout	36,54	20,08	28,31	8,20	5,30	537	2,40
Sept.	32,47	17,86	25,17	46,29	7,70	417	2,70
Oct.	26,33	14,70	20,52	42,20	7,20	380	3,09
Nov.	20,34	9,79	15,07	38,93	6,75	227	3,14
Dec.	16,07	6,18	11,13	40,70	10,40	176	2,25
Moy.	**24,50**	**11,87**	**18,18**	**40,70**	-	-	**2,71**

Source: Institut National de Météorologie

Tableau n°1.2 : Caractéristiques du sol

	SOL 1	SOL 2
Texture	Equilibre	Limoneuse
Profondeur	Relativement profond	Peut profond
PH du sol	8,5	7,8
Type de sol	Limoneux-sableux	Limoneux

Source: Laboratoire d'analyse du sol

Tableau n°1.3 : Evolution de l'occupation du sol

Année	1990/91 Sup	%	1991/92 Sup	%	1992/93 Sup	%	1993/94 Sup	%	1994/95 Sup	%	1995/96 Sup	%
I)Céréales	**132**	**17**	**189**	**24**	**141**	**19**	**105**	**14**	**194**	**25**	**165**	**21**
***Blé dur**	0	-	30	-	25	-	0	-	16	-	18	-
***Orge Grain**	97	-	135	-	116	-	105	-	135	-	117	-
***Avoine**	97	-	24	-	0	-	0	-	43	-	30	-
II)C.fourr.	**400**	**53**	**395**	**51**	**545**	**72**	**463**	**60**	**527**	**70**	**536**	**71**
***Orge Vert**	25	-	45	-	117	-	35	-	68	-	62	-
***Ensillage**	25	-	0	-	14	-	0	-	0	-	49	-
***Foin**	100	-	105	-	145	-	149	-	120	-	125	-
***Medicago**	250	-	245	-	269	-	279	-	339	-	300	-
III)Jachère	**229**	**30**	**177**	**23**	**75**	**9**	**193**	**25**	**40**	**5**	**40**	**5**

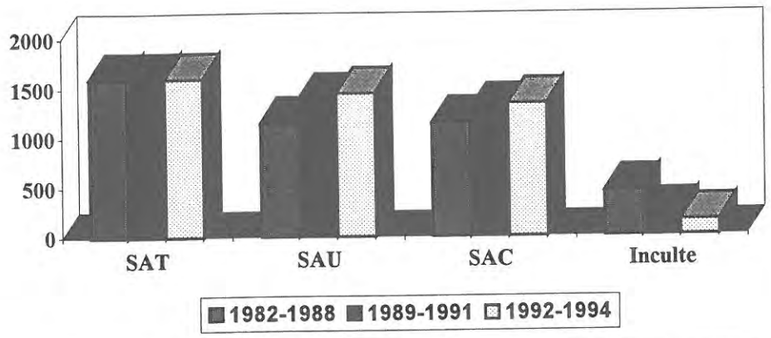
Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°1.4 : Disponibilités alimentaires «Ferme Sawaf »

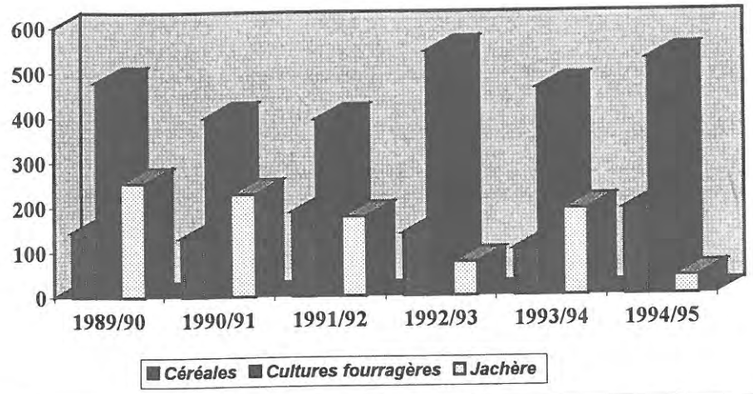
Source	Espèce	Sup	A. bonne Rdt	UF/ha	A. moyenne Rdt	UF/ha	A. mauvaise Rdt	UF/ha
Arbustes Four.	**Luzerne arb.**	30	_	2000	_	1500	_	700
	Acacia	350	_	800	_	500	_	300
	Cactus iner.	60	_	700	_	500	_	200
	Atriplex	15	_	600	_	400	_	250
C. Four.	**Orge vert**	1	80	_	60	_	_	_
	Foin	1	60	_	50	_	_	_
	Médicago	1	_	2000	_	1000	_	400
	Ensilage	1	80	_	60	_	_	8
Céréale.	**Orge**	1	12	_	10	_	3	_
	Avoine	1	14	_	12	_	5	_
	Blé dur	1	10	_	7	_	0	_
Naturelle	**Jachère**	1	_	600	_	500	_	250
	Parcours	1	_	600	_	500	_	250

Source: Direction des sources alimentaires O.E.P.

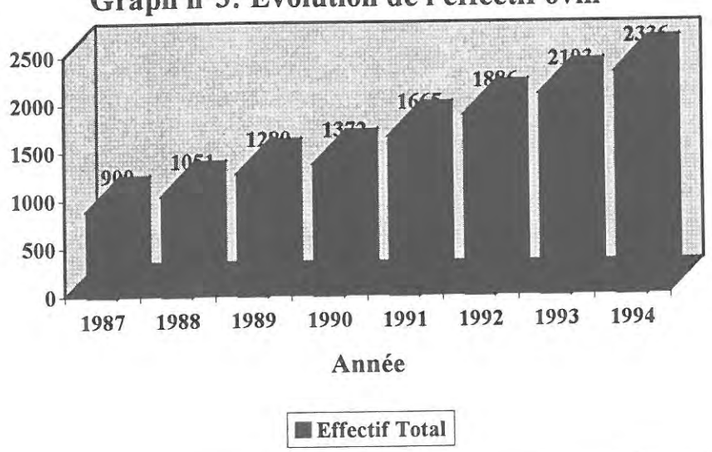
Graph n°1: Evolution de la superficie



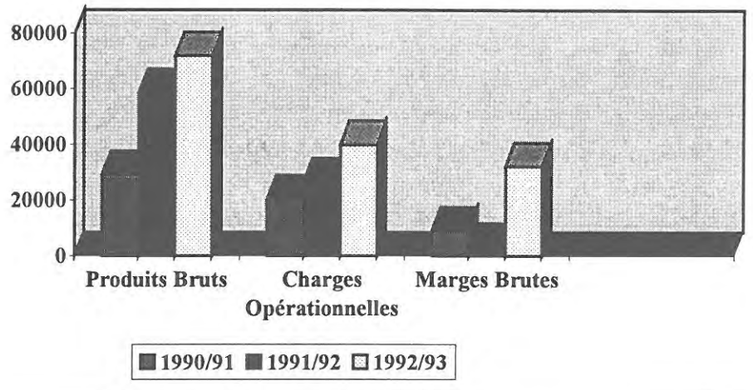
Graph n°2: Evolution de l'occupation du sol



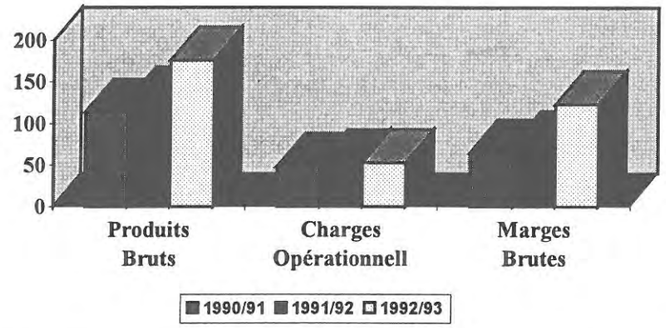
Graph n°3: Evolution de l'effectif ovin



Graph n°4: Evolution des marges brutes végétales



Graph n°5: Evolution des marges brutes animales



Graph n°6: Evolution du RBEet du RNE

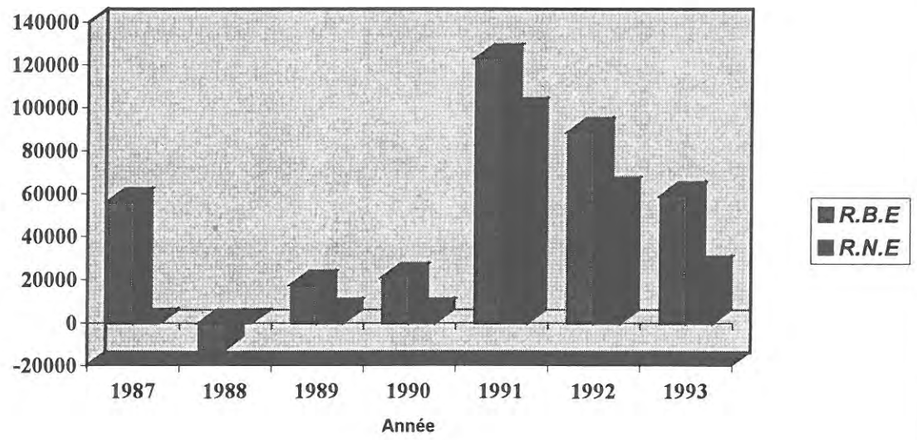


Tableau n° 1.5: Evolution de la marge brute végétale

Cultures	Campagne (90-91) Pro. brut	Tot.D	D/ha	Ch. Opéra. Tot.D	D/ha	Marge brut Tot.	D/ha	Campagne (91-92) Prod. brut	Tot.D	D/ha	Ch. Opéra. Tot.D	D/ha	Marge brute Tot.	D/ha	Campagne (93-94) Prod. brut	Tot.D	D/ha	Ch. Opéra. Tot.D	D/ha	Marge brute Tot.	D/ha
Blé dur								7285	3935	270	146	3350	124	11250	450	4006	176	6844	274			
Orge en grain	19856	14549	199	5307	146	53	24960	200	16705	134	8260	66	16310	209	14647	180	1663	21	1734	51	4124	121	-2322	70
Avoine grain	4876	2293	286	2574	135	151	5330	355	2764	184	2566	171	2032	33	1044	174	908	165	2957	148	2787	140	170	8,5
Orge en vert		6172		95					3463	77					6149						2620			
Foin d'avoine		11059		110					12764	159					12955						8696			
Médicago		9101		61											4061						4088			
Sulla		2587		74																	539			
Olivier	4550	3426	130	98		1124	32	21150	604		3087	88	16063	516	21150	604	6836	195	14315	409	4840	139	3319	95	1521	43,5
Total	29273	49187		9005				58725			42718		30239		50742		23730		9531		28741			-631	

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

* Prod. brut: produit brute
* Ch. Opéra.: Charges opérationnelles
* Tot.D: total en Dinars

Tableau n°1.6 : Marges brutes des cultures campagnes 90-91 (en DT)

Cultures	Orges en vert	Avoine foin	Avoine grain	Orge grain	Médicago	Sulla	Oliviers
Superficie (ha)	65	110	17	100	150	35	35
Production (T)	687,5	373	13,907	132,375			
Charges D.T							
Semences 644	644	1700	312	1084	4023	1400	
Phosphate 45%	592			1472	1978	375	
Ammonitre 33,5	258	1119	432	890			
Traction	3723	6739	1006	5347	3017	792	2406
Moiss-batteuse			450	3650			
M.O permanente	55	25	4	17			
M.O occasionnelle	400	1160	77	638	74	20	1020
Ficelle		316	12	105			
Plastique	500						
Sacherie				1146			
Charges globales	6172	11059	2293	14549	9101	2587	3426
Produit brut			4867	19856			4550
Marges brute G.			2574	5307			1124
Marges brute/ha			151,4	53,07			32,114

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°1.7 : Marges brutes des cultures campagnes 91-92 (en DT)

Cultures	Orges en vert	Avoine foin	Avoine grain	Orge grain	Blé dur	Oliviers	Total
Superficie (ha)	45	80	15	125	27	35	
Production (T)	150	35	13	12	10,5		
Charges D.T							
Semences 644	780	1530	360	1992	672		5334
Phosphate 45%	710	1313	383	1782	490		4678
Ammonitre 33.5	391	714	119	1029	310		2563
Traction	1554	7330	980	6500	1500	3087	20951
Moiss-batteuse			700	3640	648		4988
M.O permanente	4	68	2	10			84
M.O occasionnelle	24	1384	108	1075	194		2785
Ficelle		325	12	120	12		469
Plastique		100		70			170
Sacherie			100	487	109		696
Charges globales	3463	12764	2764	16705	3935	3087	42718
Produit brut			5330	24960	7285	21150	58725
Marges brute G.			2566	8255	3350	18063	
Marges brute/ha			171	66	124	516	
Charges fixes	2880	5120	960	8000	1728	2240	
Marges nette/ha			107	2	60	22	

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°1.8 : Marges brutes des cultures campagnes 92-93 (en DT)

Cultures	Orges en vert	Avoine foin	Avoine grain	Orge grain	Médicago	Oliviers	Ble dur
Superficie (ha)	81	74	6	78	100	35	25
Production (T)		34	12,41	10,22			15,5
Charges D.T							
Semences 644	1200	1304	100	1152			488
Phosphate 45%	620	1274,5	114,1	1680	1312		489
Ammonitre 33,5	782	578	59,5	791		963	213
Traction	2410	6628	418	6526	1790		1982
Moiss-batteuse			168	2245		4365	595
M.O permanente	28	88	8	110	14		35
Ficelle		832		504			76
Plastique		39		20			10
Cherries			79,4	200			100
Gardiennage	1057	1193	55	911	911	320	228
Charges globales	6149	12955,4	1044	14647	4061	6836	4406
Produit brut		21190	2032	16310		21150	11200
Marges brute G.		8234	988	1663		14315	6844
Marges brute/ha		111	165	21		409	273
Charges fixes	3240	2960	240	3120	4000	1400	1000
Marges nette/ha		71	125	-19		369	233

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°1.9 : Marges brutes des cultures campagnes 93-94 (en DT)

Cultures	Orges en vert	Avoine foin	Avoine grain	Orge grain	Médicago	Oliviers	Ble dur
Superficie (ha)	30	89	20	34	100	35	13
Rend. (Qx/ha)		6	4,2	3	290		7
Charges D.T							
Semences 644	528	1935	654	780			300
Phosphate 45%	468	944	259	530			253
Ammonitre 33,5	244		246	204			102
P.T.V.				114			54
Traction	1080	4129	858	1325	1502	3004	1547
Moiss-batteuse			480	660			
M.O permanente	22	135	16	46			43,2
M.O occasionnelle	13	378	54	97			102,5
Fil de fer		350					50
Plastique		30					
Gardien occasinnel	265	795	180	300	2586	315	115,5
Assurance		262	40	68			26
Charges globales	2620	8696	2787	4124	4088	3319	2568
Produit brut			2957	1734		4840	
Marges brute G.			170	2322		1521	

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°1.10 : Evolution des marges brutes globales en dinars courants

Désignation	1990-91	1991-92	1992-93	1993-94
* Marge brute végétale	**9005**	**32234**	**32043**	**-74965**
Produit brute végétale	29273	58725	71932	17107
Charges opérationnelles végétale	20268	26491	39888	92072
*Marge brute animale	**65178**	**75404**	**123187**	**78459**
Produit brute animale	113860	128283	175842	115318
Charges opérationnelles animale	48682	52879	52655	36459
* Marge brute globale	**74183**	**107638**	**155231**	**3494**

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°1.11 : Evolution du résultat global en dinars courants

Désignation	31/12/90	31/12/91	31/12/92	31/12/93
* Résultat brut d'exploitation	**21244**	**123363**	**89018**	**53494**
Amortissement	9190	18238	223350	52772
Provision	60	20	0	0
* Résultat net d'exploitation	**11994**	**105104**	**65668**	**722**
Pertes sur exercice antérieur	7189	402	5157	0
Pertes exceptionnelles	0	0	0	0
Subvention	0	6566	0	8370
Profits exceptionnels	0	0	8227	0
* Résultat net de l'exercice en dinars courants	**4816,00**	**98135,00**	**61338,00**	**9092,00**
* Résultat net de l'exercice en dinars constants de 1990	**4816,00**	**91018,97**	**53891,21**	**7764,91**

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

* Provision : créance douteuse.
* Perte exceptionnelle : mortalités des ovins et les moins valu.
* Perte sur l'exercice antérieur : pertes non enregistrés dans l'année précédante.

Annexe II : Evaluation du projet

Tableau n° 2.1: Nature des investissements et calendrier des réalisations (dinars courants)

Composantes	1990	1991	1992	1993	1994
Conservat. des eaux et du sol	25077	18725	7772	5556	1652
Amélioration pastorale (20ans)	13642	25033	18407		
Mach. Agricole (10 ans)	15577	11992	32485	70	11309,55
Mach. Agricole (5 ans)	42802	29020	13400	14300	3090
Batiments (20 ans)		33769	11705	11068	12632
Divers (5 ans)		279	4732		
Total en dinars courants	97098	118818	88501	30994	28683,55
Total en dinars constants de 1990	97098,00	110202,19	77756,47	26470,03	22656,83

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n° 2.2 : Coûts et échéanciers des investissementsen C.E.S. et amélioration pastorale (en dinars courants)

Composantes	1990	1991	1992	1993	1994
Conservat. des eaux et du sol					
Construction des banquettes	1262				
Consolidation des oeuvrages	9602	10373	1957	1203	
Confection des lacs collinaires					
Entretien des banquettes	7491	6354	3053	2623	1652
Entretien des lacs collinaires	1000		2762		
Bandes en herbé	5722	1998		439	
Piste agricole				1291	
Amélioration pastorale					
Médicago	5608	8000	6438		
Sulla de sousse		3366			
Acacia		10933	6250		
Cactus inerme	2784	2734	4470		
Luzerne arborescente	5250		1250		
Total en dinars courants	38719,00	43758,00	26180,00	5556,00	1652,00
Total en dinars constants de 1990	38719,00	40584,99	23001,60	4745,03	1304,90

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n° 2.3 : Tableau d'amortissement en DT (sans renouvellement)

Année	Conservat°. des eaux et du sol	Amélioration pastorale	Bâtiments	Mach. Agricole	Mach. Agricole	Divers	Total
90/1	1253,85	682,1	0	1557,7	8560,4	0	12054,05
2	2190,10	1933,75	1688,45	2756,9	14364,4	55,8	22989,40
3	2578,70	2854,1	2273,7	6005,4	17044,4	1002,2	31758,50
4	2856,50	2854,1	2827,1	6012,4	19904,4	1002,2	35456,70
5	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	20522,4	1002,2	37919,89
6	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	11962	1002,2	29359,49
7	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	6158	946,4	23499,69
8	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	3478	0	19873,29
9	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	618	0	17013,29
10	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	0	0	16395,29
11	2939,10	2854,1	3458,74	5585,65	0	0	14837,59
12	2939,10	2854,1	3458,74	4386,45	0	0	13638,39
13	2939,10	2854,1	3458,74	1137,95	0	0	10389,89
14	2939,10	2854,1	3458,74	1130,95	0	0	10382,89
15	2939,10	2854,1	3458,74	0	0	0	9251,94
16	2939,10	2854,1	3458,74	0	0	0	9251,94
17	2939,10	2854,1	3458,74	0	0	0	9251,94
18	2939,10	2854,1	3458,74	0	0	0	9251,94
19	2939,10	2854,1	3458,74	0	0	0	9251,94
20	2939,10	2854,1	3458,74	0	0	0	9251,94
21	1685,25	2172	3458,74	0	0	0	7315,99
22	749,00	920,35	1770,29	0	0	0	3439,64
23	360,40	0	1185,04	0	0	0	1545,44
24	82,60	0	631,64	0	0	0	714,24
Total	58782,00	57082,00	69174,8	71433,5	102612	5011	364095,30

Source: Elaboration personnelle

Tableau n° 2.4 : Tableau d'amortissement en DT (avec renouvellement)

Année	Conservat°. des eaux et du sol	Amélioration pastorale	Bâtiments	Mach. Agricole	Mach. Agricole	Divers	Total
90/1	1253,85	682,1	0	1557,7	8560,4	0	12054,05
2	2190,10	1933,75	1688,45	2756,9	14364,4	55,8	22989,40
3	2578,70	2854,1	2273,7	6005,4	17044,4	1002,2	31758,50
4	2856,50	2854,1	2827,1	6012,4	19904,4	1002,2	35456,70
5	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	20522,4	1002,2	37919,89
6	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	20522,4	1002,2	37919,89
7	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	20522,4	1002,2	37919,89
8	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	20522,4	1002,2	37919,89
9	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	20522,4	1002,2	37919,89
10	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	20522,4	1002,2	37919,89
11	2939,10	2854,1	3458,74	7143,35	20522,4	1002,2	37919,89
Total	29452,85	28302,75	31000,43	66335,85	203530,4	9075,6	367697,88

Source: Elaboration personnelle

TAbleau n° 2.5 : Pluviométrie annuelle entre 1963-1995 (unité : mm)

Campagne	Pluviométrie annuelle	Campagne	Pluviométrie annuelle
1963-64	350,00	1979-80	419,80
1964-65	394,00	1980-81	395,70
1965-66	389,40	1981-82	323,40
1966-67	306,10	1982-83	524,00
1967-68	483,90	1983-84	183,80
1968-69	381,60	1984-85	464,60
1969-70	506,20	1985-86	170,70
1970-71	583,20	1986-87	400,80
1971-72	582,00	1987-88	187,30
1972-73	691,20	1988-89	219,90
1973-74	754,00	1989-90	500,20
1974-75	521,50	1990-91	325,10
1975-76	625,20	1991-92	515,80
1976-77	449,80	1992-93	377,00
1977-78	347,80	1993-94	191,50
1978-79	425,10	1994-95	220,20

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n° 2.6 : Répartition de la pluviométrie

Pluviométrie moyenne inférieur à 250 mm	Pluviométrie moyenne entre 250 et 400 mm	Pluviométrie moyenne supérieur à 400 mm
13%	34%	53%

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

Tableau n°2.7 : Indice général des prix à la consommation familiale *(Base:1983=100)*

Année	Indice général
1984	108,60
1985	116,80
1986	124,00
1987	134,20
1988	143,80
1989	154,90
1990	165,00
1991	177,90
1992	187,80
1993	193,20
1994	208,89

Source: Bulletin statistique

Tableau n°2.8 : Evolution du revenu brut d'exploitation avant projet (en DT)

Année	Pluviométrie	Revenu brut d'exploitation		Coefficient de pondération	RBE* pondéré
		Dinars courant	Dinars constant de 1992		
31/12/86	170,70	-47082,00	-71306,45	13%	-9269,84
31/12/87	400,80	56123,00	78538,74	53%	41625,53
31/12/88	187,30	-12349,00	-16127,55	13%	-2096,58
31/12/89	219,90	17818,00	21602,46	13%	2808,32
Total	978,70	14510,00	12707,20	92%	33067,43
Moyenne	244,68	3627,50	3176,80		**8985,72**

Source: Elaboration personnelle à partir des rapports d'activités

* RBE : Revenu ou résultat brut d'exploitation pondéré (dinars constant de 1992)

Tableau n° 2.9 : Evaluation financière (en DT) : SCENARIO 1

Année	HYPOTHESE 1				HYPOTHESE 2			
	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)
1990	8985,72	24179,53	15193,81	110515,18	8985,72	24179,53	15193,81	110515,18
1991	8397,87	121708,47	113310,60	117224,42	8313,89	121708,47	113394,58	117224,42
1992	7848,48	83957,35	76108,87	77300,20	7692,29	83957,35	76265,06	77300,20
1993	7335,02	67926,90	60591,88	24593,19	7117,17	67926,90	60809,73	24593,19
1994	6855,16	84333,38	77478,22	19673,23	6585,04	84333,38	77748,34	19673,23
1995	6406,69	85887,35	79480,66	35793,10	6092,70	85887,35	79794,65	35793,10
1996	5987,56	74694,14	68706,58	21403,01	5637,17	74694,14	69056,97	21403,01
1997	5595,85	67974,34	62378,49	12216,61	5215,70	67974,34	62758,64	12216,61
1998	5229,77	64082,73	58852,96	8954,33	4825,74	64082,73	59256,99	8954,33
1999	4887,64	59267,31	54379,67	2318,92	4464,94	59267,31	54802,37	2318,92
2000	4567,88	66878,48	62310,60	34532,74	4131,11	66878,48	62747,37	34532,74

Source: Elaboration personnelle

VAN	31 355,96 F
TRI	8,42%

VAN	33 085,37 F
TRI	8,50%

** Taux d'actualisation : 7%*
** Pas de subvention à l'investissement*

** R.B.E. sans projet constant*

** R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année*

Tableau n° 2.10 : Evaluation financière (en DT) : SCENARIO 2

Année	HYPOTHESE 1				HYPOTHESE 2			
	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)
1990	8985,72	24179,53	15193,81	110515,18	8985,72	24179,53	15193,81	110515,18
1991	8168,84	115160,35	106991,51	114027,39	8087,15	115160,35	107073,20	114027,39
1992	7426,21	81100,98	73674,77	73141,32	7278,43	81100,98	73822,55	73141,32
1993	6751,10	64855,43	58104,33	22635,39	6550,59	64855,43	58304,84	22635,39
1994	6137,37	78600,63	72463,26	17613,27	5895,53	78600,63	72705,10	17613,27
1995	5579,43	78624,34	73044,91	31171,29	5305,98	78624,34	73318,36	31171,29
1996	5072,20	67713,25	62641,05	18130,99	4775,38	67713,25	62937,87	18130,99
1997	4611,10	61059,46	56448,36	10066,73	4297,84	61059,46	56761,62	10066,73
1998	4191,90	57021,35	52829,45	7177,31	3868,06	57021,35	53153,29	7177,31
1999	3810,82	52444,71	48633,89	1808,03	3481,25	52444,71	48963,46	1808,03
2000	3464,38	57645,26	54180,88	26190,39	3133,13	57645,26	54512,13	26190,39

Source: Elaboration personnelle

VAN	-27 593,98 F
TRI	8,42%

VAN	-26 413,09 F
TRI	8,50%

** Taux d'actualisation : 10%*
** Pas de subvention à l'investissement*

** R.B.E. sans projet constant*

** R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année*

Tableau n° 2.11 : Evaluation financière (en DT) : SCENARIO 3

Année	HYPOTHESE 1				HYPOTHESE 2			
	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)
1990	8985,72	24179,53	15193,81	109194,40	8985,72	24179,53	15193,81	109194,40
1991	8397,87	121708,47	113310,60	104273,08	8313,89	121708,47	113394,58	104273,08
1992	7848,48	83957,35	76108,87	70440,48	7692,29	83957,35	76265,06	70440,48
1993	7335,02	67926,90	60591,88	23270,61	7117,17	67926,90	60809,73	23270,61
1994	6855,16	84333,38	77478,22	19333,31	6585,04	84333,38	77748,34	19333,31
1995	6406,69	85887,35	79480,66	35793,10	6092,70	85887,35	79794,65	35793,10
1996	5987,56	74694,14	68706,58	21403,01	5637,17	74694,14	69056,97	21403,01
1997	5595,85	67974,34	62378,49	12216,61	5215,70	67974,34	62758,64	12216,61
1998	5229,77	64082,73	58852,96	8954,33	4825,74	64082,73	59256,99	8954,33
1999	4887,64	59267,31	54379,67	2318,92	4464,94	59267,31	54802,37	2318,92
2000	4567,88	66878,48	62310,60	34532,74	4131,11	66878,48	62747,37	34532,74

Source: Elaboration personnelle

VAN	52 659,07 F
TRI	9,48%

VAN	54 388,49 F
TRI	9,56%

** Taux d'actualisation : 7%*
** 30% de la composante C.E.S. est subventionnée*

** R.B.E. sans projet constant*

** R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année*

Tableau n° 2.12 : Evaluation financière (en DT) : SCENARIO 4

Année	HYPOTHESE 1				HYPOTHESE 2			
	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)
1990	8985,72	24179,53	15193,81	109194,40	8985,72	24179,53	15193,81	109194,40
1991	8168,84	115160,35	106991,51	101429,27	8087,15	115160,35	107073,20	101429,27
1992	7426,21	81100,98	73674,77	66650,66	7278,43	81100,98	73822,55	66650,66
1993	6751,10	64855,43	58104,33	21418,11	6550,59	64855,43	58304,84	21418,11
1994	6137,37	78600,63	72463,26	17308,95	5895,53	78600,63	72705,10	17308,95
1995	5579,43	78624,34	73044,91	31171,29	5305,98	78624,34	73318,36	31171,29
1996	5072,20	67713,25	62641,05	18130,99	4775,38	67713,25	62937,87	18130,99
1997	4611,10	61059,46	56448,36	10066,73	4297,84	61059,46	56761,62	10066,73
1998	4191,90	57021,35	52829,45	7177,31	3868,06	57021,35	53153,29	7177,31
1999	3810,82	52444,71	48633,89	1808,03	3481,25	52444,71	48963,46	1808,03
2000	3464,38	57645,26	54180,88	26190,39	3133,13	57645,26	54512,13	26190,39

Source: Elaboration personnelle

VAN	-7 656,55 F
TRI	9,48%

VAN	-6 475,66 F
TRI	9,56%

* *Taux d'actualisation : 10%*
* *30% de la composante C.E.S. est subventionnée*
* *R.B.E. sans projet constant*
* *R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année*

Tableau n° 2.13 : Evaluation financière (en DT) : SCENARIO 5

Année	HYPOTHESE 1				HYPOTHESE 2			
	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)
1990	8985,72	24179,53	15193,81	88412,14	8985,72	24179,53	15193,81	88412,14
1991	8397,87	121708,47	113310,60	93779,54	8313,89	121708,47	113394,58	93779,54
1992	7848,48	83957,35	76108,87	61840,16	7692,29	83957,35	76265,06	61840,16
1993	7335,02	67926,90	60591,88	19674,55	7117,17	67926,90	60809,73	19674,55
1994	6855,16	84333,38	77478,22	15738,58	6585,04	84333,38	77748,34	15738,58
1995	6406,69	85887,35	79480,66	35793,10	6092,70	85887,35	79794,65	35793,10
1996	5987,56	74694,14	68706,58	21403,01	5637,17	74694,14	69056,97	21403,01
1997	5595,85	67974,34	62378,49	12216,61	5215,70	67974,34	62758,64	12216,61
1998	5229,77	64082,73	58852,96	8954,33	4825,74	64082,73	59256,99	8954,33
1999	4887,64	59267,31	54379,67	2318,92	4464,94	59267,31	54802,37	2318,92
2000	4567,88	66878,48	62310,60	34532,74	4131,11	66878,48	62747,37	34532,74

Source: Elaboration personnelle

VAN	96 646,84 F
TRI	11,95%

VAN	98 376,25 F
TRI	12,02%

* *Taux d'actualisation : 7%*
* *Projet catégorie "C" bénéficie de 20% de subvention.*
* *R.B.E. sans projet constant*
* *R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année*

Tableau n° 2.14 : Evaluation financière (en DT) : SCENARIO 6

Année	HYPOTHESE 1				HYPOTHESE 2			
	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)
1990	8985,72	24179,53	15193,81	88412,14	8985,72	24179,53	15193,81	88412,14
1991	8168,84	115160,35	106991,51	91221,91	8087,15	115160,35	107073,20	91221,91
1992	7426,21	81100,98	73674,77	58513,06	7278,43	81100,98	73822,55	58513,06
1993	6751,10	64855,43	58104,33	18108,32	6550,59	64855,43	58304,84	18108,32
1994	6137,37	78600,63	72463,26	14090,62	5895,53	78600,63	72705,10	14090,62
1995	5579,43	78624,34	73044,91	31171,29	5305,98	78624,34	73318,36	31171,29
1996	5072,20	67713,25	62641,05	18130,99	4775,38	67713,25	62937,87	18130,99
1997	4611,10	61059,46	56448,36	10066,73	4297,84	61059,46	56761,62	10066,73
1998	4191,90	57021,35	52829,45	7177,31	3868,06	57021,35	53153,29	7177,31
1999	3810,82	52444,71	48633,89	1808,03	3481,25	52444,71	48963,46	1808,03
2000	3464,38	57645,26	54180,88	26190,39	3133,13	57645,26	54512,13	26190,39

Source: Elaboration personnelle

VAN	33 848,31 F
TRI	11,95%

VAN	35 029,19 F
TRI	12,02%

** Taux d'actualisation : 10%*

** Projet catégorie "C" bénéficie de 20% de subvention.*

** R.B.E. sans projet constant*

** R.B.E. sans projet diminue de 1% chaque année*

Tableau n° 2.15 : Evaluation financière : L1 et L00 (en DT)

Année	L1				L00			
	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)	R.B.E sans projet (I)	R.B.E avec projet (II)	CAF ou MBA (II) - (I)	COUT D'INV. (III)
1990	8985,72	24179,53	15193,81	110515,18	8985,72	24179,53	15193,81	110515,18
1991	8397,87	121708,47	113310,60	117224,42	8397,87	121708,47	113310,60	117224,42
1992	7848,48	83836,26	75987,78	77300,20	7848,48	83863,33	76014,85	77300,20
1993	7335,02	67799,03	60464,01	24593,19	7335,02	67827,65	60492,63	24593,19
1994	6855,16	84187,96	77332,80	19673,23	6855,16	84220,60	77365,44	19673,23
1995	6406,69	85732,89	79326,20	35793,10	6406,69	85767,57	79360,88	35793,10
1996	5987,56	74538,13	68550,57	21403,01	5987,56	74573,18	68585,62	21403,01
1997	5595,85	67792,98	62197,13	12216,61	5595,85	67833,83	62237,98	12216,61
1998	5229,77	63871,90	58642,13	8954,33	5229,77	63919,65	58689,88	8954,33
1999	4887,64	59022,31	54134,67	2318,92	4887,64	59078,01	54190,37	2318,92
2000	4567,88	66593,70	62025,82	34532,74	4567,88	66658,73	62090,85	34532,74

Source: Elaboration personnelle

VAN	30 439,86 F
TRI	8,38%

VAN	30 646,49 F
TRI	8,39%

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Répartition des terres affectées par l'érosion dans le Nord-Centre de la Tunisie. 9
Tableau n°2 : Evolution du nombre de jours de travail (1985 - 1993) 46
Tableau n°3 : Evolution de l'occupation du sol. 47
Tableau n°4 : Evolution des rendements. 48
Tableau n°5 : Evolution de l'effectif ovin. 48
Tableau n°6 : Evolution des paramètres de reproduction. 49
Tableau n°7 : Evolution des marges brutes végétales. 49
Tableau n°8 : Evolution des marges brutes animales. 49
Tableau n°9 : Evolution du R.B.E. et du R.N.E. 50
Tableau n°10 : Coûts des travaux de C.E.S. réalisés entre 1980-1989. 51
Tableau n°11 : Valeur actualisée des capitaux investis en C.E.S. après 1989. 51
Tableau n°12 : Montants des investissements en amélioration pastorale et arbustes fourragers 53
Tableau n°13 : Montants des investissements en machinisme agricole 53
Tableau n°14 : Calendrier fourrager de la ferme Sawaf. 61
Tableau n°15 : Evolution de l'occupation du sol. 75
Tableau n°16 : Rentabilité du projet. 81
Tableau n°17 : Récapitulation des différentes valeurs de V.A.N. et T.R.I. 84
Tableau n°18 : Matrice de *"Pay-Off"* de la situation initiale. 86
Tableau n°19 : Variabilité du L1 et L∞ par rapport à la solution de base en terme de V.A.N. et T.R.I. 91

Liste des graphiques

Graphique n°1 : Evolution des investissements en C.E.S. 17
Graphique n°2 : Validation du modèle EPIC. 56
Graphique n°3 : Impact des aménagements C.E.S. sur le rendement (Blé dur). 58
Graphique n°4 : Impact des aménagements C.E.S. sur l'érosion. 59
Graphique n°5 : Erosion avec deux niveau différents d'utilisation d'intrants. 59
Graphique n°6 : Comparaison entre le modèle de base et le modèle réel. 75
Graphique n°7 : Evolution de l'effectif ovin. 76
Graphique n°8 : Evolution des marges brutes animale et végétale. 76
Graphique n°9 : Evolution du revenu net annuel espéré et de l'érosion. 77
Graphique n°10 : Résultat de la méthode NISE appliquée entre le revenu net et l'érosion. 87
Graphique n°11 : Courbe de *"trade off"*, revenu net annuel - érosion. 89
Graphique n°12 : Variabilité de L1 et L∞ par rapport à la solution de base en terme du revenu net. 90
Graphique n°13 : Variabilité de L1 et L∞ par rapport à la solution de base en terme d'érosion. 90

Liste des sigles

* **A.P.I.A.** : Agence de promotion des investissements agricoles.

* **C.A.F.** : Capacité d'autofinancement.

* **C.N.R.S.** :Centre National de Recherche Scientifique

* **C.E.S.** : Conservation des Eaux et du Sol.

* **D.T.** : Dinar Tunisien.

* **E.P.I.C.** : Erosion Productivity impact calculator.

* **F.A.O.** : Food and Agriculture Organization. Rome.

* **I.A.M.** : Institut Agronomique Méditerranéen.

* **I.N.R.A.** :. Institut Nationale de Recherche Agronomique.

* **M.B.A.** : Marge brute d'autofinancement.

* **M.D.** : Millions de dinars.

* **O.C.D.E** : Organisation de Coopération et de Développement Economiques. Paris

* **O.E.P.** : Office d'Elevages et des pâturages.

* **P.M.C.** : Programmation multicritère.

* **R.B.E.** : Revenu brut d'exploitation.

* **R.N.E.** : Revenu net d'exploitation.

* **T.R.I.** : Taux de rentabilité interne.

* **V.A.N.** : Valeur actualisée nette.

Bibliographie

1. **ACHOURI M.,** 1995. - La conservation des eaux et du sol en Tunisie : bilan et perspective. *Agriculture, durabilité et environnement*. Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 9, ATA - IAMZ, pp. 35-47.

2. **ALLAYA K., VIERTMANN W., WAIBEL K.,** 1993. - *Les tabias*. - Eschborn : GTZ. - 189p.

3. **ANDERSON J.R., THAMPAPILLAI J.,** 1990. - *Soil conservation in developping countries, projet and policy intervention*. - Washington : Word Bank. - 45 p.

4. **BACHTA M.S.,** 1995. - Conservation des eaux et du sol (CES) en Tunisie : intervention des pouvoirs publics et stratégies paysannes, un éclairage économique. *Agriculture, durabilité et environnement.* Cahiers Option Méditerranéennes, vol. 9, ATA - IAMZ, pp. 49-59.

5. **BARDE J.PH.,** 1977. - *Economie et politique de l'environnement*. - Paris : L'économiste.

6. **BARDE J.PH.,** 1990. - Le développement durable: la fin et les moyens. - *L'Observateur de l'OCDE*, n° 164, juin-juillet 1990, pp. 33-37.

7. **BARDE J.PH.,** 1991. - *Economie et politique de l'environnement*. - Paris : L'économiste.

8. **BETSCH J.M., CURY PH., WEBER J.,** 1990. - *A l'interface homme-nature: les ressources renouvelables*. CNRS Programme Environnement, Colloque Recherche et Environnement, Strasbourg, 24-25 Septembre 1990.

9. **BLANCO M.,** 1995. - *Analyse des impacts socio-économiques et des effets sur l'environnement des politiques agricoles : modélisation de l'utilisation agricole des ressources en eau dans la région espagnole de Castille-Leon.- Montpellier* : IAM, 171p. - (Master of Science).

10. **BONNIEUX F., RAINELLI P.,** 1987. - Environnement et Ressources naturelles. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, n° 4, avril 1987.

11. **BONNY S.,** 1994. - Les possibilités d'un modèle de développement durable en agriculture: le cas de la France. *le Courrier de l'Environnement de l'IRA*.

12. **BOISSON J.M,** 1984. - Economie, écologie, environnement : le point de vue d'un économiste. - *Economie Méridionale*, n° 125-126, 1er-2e trimestre 1984, pp. 43-52.

13. **BOISSON J.M.,** 1994. - Efficacité, stabilité, équité : Une nouvelle perspective pour les revenus agricoles en Europe. - *Economie Rurale*, n° 220-221, mars-juin 1994, pp. 218-223.

14. **BOISSON J.M.,** 1996. - *Cours d'économie publique de politique agricole.* - Montpellier, (Note de cours).

15. **BOUSSARD J.M., BOUSSEMART J.PH., FLICHMAN G., JACQUET F., LEFER H.B.,** 1994., - *Analyse des impacts socio-économiques de différentes politiques agricoles dans certaines régions françaises : compétitivité et protection de l'environnement*. - Programme Agriculture Demain (n° 92G0364). - Lille : CREA -Labores. - 75 p.

16.**BOUSSARD J.M., DAUDIN J.J.,** 1988. - *La programmation linéaire dans les modèles de production.* - Paris : Masson.

17.**BOUSSARD J.M.,** 1987. - *Economie de l'agriculture.* - Paris : Economica. - 320 p.

18.**BOUSSARD J.M.,** 1970. - *Programmation mathématique et théorie de la production agricole.* - Paris : Cujas. - 251 p.

19.**BOYER R., CHAVANCE B., GODARD O.,** 1991. - *Les figures de l'irréversibilité en économie.* - Paris : éditions de l'EHESS.

20.**CABELGUENNE M., DEBAEKE PH.,** 1995. - *Manuel d'utilisation du modèle EWQTPR (EPIC-PHASE temps réel).* - Toulouse : INRA.

21.**DAY R.H.,** 1961. - *Récursive Programming and Production Response.* - Amsterdam.

22.**DE MONTGOLFIER J., NATALI J.M.,** 1987. - *Le patrimoine du futur : approches pour une gestion patrimoniale des ressources naturelles.* - Paris : Economica. - 250 p.

23.**DELACHE X.,** 1992. - Les instruments des politiques d'environnement. - *Economie et Statistique,* oct-novembre 1992.

24.**DEYBE D.,** 1989. - *Politique agricole et érosion des sols en Argentine: une méthodologie pour leur analyse.* - Montpellier : IAM, avril 1989. - (Master of Science).

25.**DEYBE D.,** 1993. - *Vers une agriculture durable: un modèle bio-économique.* - Paris : CIRAD. - 193p.

26.**DEYBE D., OUEDRAOGO S., GERARD F.,** 1993. - *Agriculture durable, modèle dynamique et récursif.* - Washington : Washington State University. - 19 p.

27.**FAO/PNUD.,** 1991. - *Rapport d'évaluation sur les techniques de CES en Tunisie.* - Tunis, décembre 1991.

28.**FLICHMAN G.,** 1995. - *L'apport des modèles bio-économiques à l'analyse des politiques agricoles.* - Montpellier, mars 1995. - (note de cours).

29.**FAUCHEUX S., NOEL J.F.,** 1995. - *Economie des ressources naturelles et de l'environnement.* - Paris : Amand Collin.

30.**GRIFFON M.,** 1992. - Economie institutionnelle et gestion des ressources naturelles renouvelables. - *Economie Rurale,* n° 208-209, mars-juin 1992, pp. 70-74.

31.**GODARD D., 1992.,** - La science économique face à l'environnement. - In: *Les passeurs de frontières,* Jolivet M., pp. 195-222. - Paris : CNRS.

32.**HAMZA A.,** 1980. - *Erosion et travaux de lutte anti-érosive dans le bassin versant de l'Oued El Ouara et de ses tributaires.*

33.**HOUDAYER R.,** 1993. - *Evaluation financière des projets.* - Paris : Economica. - 262p.

34.**JOLLIVET M.,** 1992. - Agriculture et Environnement: réflexions sociologiques. - *Economie Rurale,* mars-juin 1992.

35.**KENIGSWALD L.,** 1992. - Environnement et Croissance: un faux dilemme pour les pays en développement. - *Economie et statistique,* oct-novembre 1992.

36.**LACOMBE PH.,** 1996. - *Cours de politique agricole.* - Montpellier. - (note de cours).

37.**LEFEBYRE A,** 1994. - *Modélisation économique de l'exploitation polyculture-élevage.* - Programme Agriculture Demain (n° 92G0364). - Lille : CREA -Labores. - 75 p.1994.

38.**LECLECH B.,** 1993. - *Environnement et agriculture.* - Paris.

39.**MARX,** 1987 - *Le capital,* Livre Premier, trad.frse, 3vol. - Paris : Edition Sociales, 1950.

40.**MEASNICOV M.,** 1992. - *La lutte contre l'érosion sur les terrains agricoles.* - Option méditerranéennes, n° 25, 1992, pp. 70-73.

41.**MIRABEAU,** 1760 - *Tableau économique avec ses explications.* - Avignon.

42.**MONTGOLFIER J., NATALI J.M.,** 1987. - *Le patrimoine du futur: approches pour une gestion patrimoniale des ressources naturelles.* - Paris : Economica.

43.**MONTGOLFIER J.,** 1992. - Agriculture et environnement: offres et demandes. - *Economie Rurale,* mars-juin 1992.

44.**MUGHAL A.D.,** 1992. - Letters to the Editor. - *Journal of substainable Agriculture* 2, p 6-7.

45.**OCDE.,** 1993. - *L'intégration des politiques de l'agriculture et de l'environnement: progrès récents et nouvelles orientations.* - Paris : OCDE.

46.**OCDE.,** 1992. - *Evaluation des projets et politiques: intégrer l'économie et l'environnement.* - Paris : OCDE.

47.**OCDE.,** 1989. - *Ressources naturelles renouvelables: incitations économiques pour une meilleure gestion.* - Paris : OCDE.

48.**PEARCE D.,** 1992. - Economie et environnement: vers un développement durable. - *Problèmes économiques,* 3 juin 1992.

49.**PEARCE D., TURNER R.K.,** - *Economics of Natural Ressources and the Environment.* - Harvester Wheatsheaf : Hemel Hempstead.

50.**PERCEBOIS J., 1991.** - *Économie des finances publiques.* - Paris : Armand Colin.

51.**PILLET G.,** 1989. - *Economie écologie: introduction à l'économie de l'environnement et des ressources naturelles.* - Paris : Gerog éditeur.

52.**POINT P.,** 1992. - Les services rendus par le patrimoine naturel: une évaluation fondée sur des principes économiques. - *Economie et Statistique,* oct-novembre 1992.

53.**POINT P.,** 1991. - Typologie des ressources. - *Cahiers français*, n° 250, mars-avril 1991, pp. 40-41.

54.**QUESNAY F.,** 1774.- <<Maximes générales du gouvernement économique d'un royaum agricole>> in *QUESNAY F.*, Physiocratie. Paris : GF-Flammarion, 1991.

55.**RICARDO D.,** 1821 - *Des principes de l'économie politique de l'impot.* - Paris : GF-Flammarion, *trad. frse,* 1992.

56.**ROMERO C., REHMANT T.,** 1989. - *Multiple criteria analysis for agricultural decisions.* - Amsterdam : Elsevier Amsterdam.

57.**ROLF-ULRICH S.,** 1995. - Croissance économique et protection de l'environnement: Les thèses en présence. - *Problèmes économiques*, n° 2.407, 18 janvier 1995, pp. 8-11.

58.**ROOSE E.,** 1991. - *Conservation des sols en zones méditerranéennes: synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive.*

59.**ROY B.,** 1985. - *Méthodologie multicritère d'aide à la décision.* - Paris : Economica. - 450 p.

60.**SERAGELDIN I.,** 1993. - Pour un développement durable. - *Finances et Développement,* Décembre 1993, pp. 6-19.

61.**SIMOS J.,** 1989. - *Evaluer l'impact sur l'environnement "Une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation".* - Lausanne (Thèse doctorale).

62.**SOLOW R.M.**, 1974. - The Economics of Ressources or the Ressources of Economics. *American Economic Review*, 64, Papers and Proceedings (2), 1-14.

63.**SGHAIER M.,** 1995.- *Tarification et allocation optimale de l'eau d'irrigation dans les systèmes de production de la région oasienne de Nefzaoua (Sud de la Tunisie*). Thèse doctorale, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste biologische Wetenschappen, Belgique, 235p.

64.**TAKTAK L.,** 1992. - *Impact des travaux anti-érosifs sur des micro-bassins de Tunisie Centrale.*

65.**TUNISIE.,** Ministère de l'Agriculture. - Direction Nationale de Conservation des Eaux et du Sol **(CES)**. - *Stratégie nationale de la conservation des eaux et du sol (1990-2000).* - Tunis : D/CES, 1993.

66.**TUNISIE.,** Ministère de l'Agriculture. - Direction Nationale de Conservation des Eaux et du Sol **(CES)**. - *Projets de conservation des eaux et du sol en Tunisie*. - Tunis : D/CES, 1993.

67.**TUNISIE.,** Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire **(MEAT).** Rapport National: L'état de l'environnement. - Tunis : MEAT, 1993. - 138 p.

68.**TUNISIE.,** Ministère de l'Agriculture. - Direction Générale de la Planification, du Développement et des Investissements Agricoles **(DGPDIA)**. - *Amélioration de la sécurité alimentaire par le renforcement de la productivité durable dans les zones fragiles des PVD.* - Tunis: DGPDIA, 1993.

69.**TUNISIE.,** Ministère de l'Agriculture. - Direction Générale de la Planification, du Développement et des Investissements Agricoles **(DGPDIA)**. - *VIII*ème *plan de développement économique et social, développement agricole et sécurité alimentaire.* - Tunis: DGPDIA, 1992.

70.**VICIEN C.,** 1991. - Les modèles de simulation comme fonctions de production. - *Economie Rurale*, n° 204, pp. 46-50.

71.**VICIEN C.,** 1989. - *Les modèles de simulation comme outil pour la construction de fonction de production: une application à la mesure de l'efficacité de la production agricole.* - Montpellier : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier: Collection Thèses et Masters, 133 p.

72.**YOUNG R. A.,** 1993. - L'analyse économique de l'eau. Collection Gestion, série : Politique générale, finance et Marketing. - *L'analyse coûts-avantages : défis et controverses.* - Paris : ed. Economica.

73.**WALRAS L.,** 1874. - *Eléments d'économie politique pure ou la théorie de la richesse sociale*, 4 éd., 1900, rééd., LGDJ. - Paris, 1952.

74.**WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT,** 1987. - *Our common future*. - Oxford : Oxford University Press, 400p.

75.**ZEKRI S.,** 1995. - *Cours de programmation multicritère*. - Montpellier : IAM, mars 1995. - (note de cours).

76.**ZEKRI S., DRIDI N., LARA P.,** 1994. - *Intégration de l'élevage dans les petites exploitations irriguées : une approche multicritère en deux étapes*. - MEDIT, P 36-41.

Table des matières

Introduction générale 1

Première partie : conservation des eaux et du sol en Tunisie : problématique et méthodologie

Chapitre 1: Problématique de la C.E.S. en Tunisie 7

Section 1: Les éléments du constat 7
I - L'environnement tunisien: un espace risqué 7
II - Politique tunisienne de conservation des ressources naturelles 9
1 - Historique des pratiques en matière de conservation des eaux et du sol.10
A - C.E.S. avant l'indépendance: une stratégie paysanne 10
B - C.E.S. après l'indépendance: une affaire d'Etat 11
a - Une stratégie de la promotion sociale: 1960-1970 11
b - Une stratégie de la maîtrise du milieu physique: 1970-1990 12
c - Une stratégie de la participation: 1990-2000 12
2 - Justification de l'intervention publique par les aménagements C.E.S. 13
3 - C.E.S.: pour qui 14
III - C.E.S.: une intégration des politiques agricoles et environnementales 14
IV - C.E.S.: pour un développement durable 15
V - C.E.S. et équité intergénérationnelle 16
VI - Evolution des dépenses en matière de C.E.S. 16

Section 2: Les éléments de la problématique 17
I - Formulation de la problématique 17
II - Hypothèses explicatives 18
1 - Première hypothèse 18
2 - Deuxième hypothèse 18

Chapitre 2 : Cadre théorique et approche méthodologique 19

Section 1 : Cadre théorique 20
I - L'Etat dans la nouvelle économie publique: vers une allocation optimale des ressources 20
1 - La conception libérale du rôle de l'Etat 20
2 - Justification de l'intervention de l'Etat: faire face au défaillance du marché 21
.3 - Les branches d'interventions de l'Etat 21
II - Les ressources naturelles: concepts, fondements et théories 22
1 -Concepts et typologie des ressources naturelles vus par les sciences économiques 23

A - Définition et concept 23
B - Caractéristiques et typologie 24
2 - Les premières approches de l'économie des ressources naturelles 24
A - Les inquiétudes des économistes classiques 25
B - Marx 26
C - Néoclassique: passage du problème de quantité au problème de qualité 26
a - Quantité limitée des ressources naturelles 26
b - Inquiétude sur la qualité et apparition de la théorie des ressources naturelles 27
III - Conclusion 29

Section 2: Approche méthodologique **29**
I - Choix de la méthode 29
1 - L'analyse économétrique : définition et critique 29
2 - L'analyse coûts-avantages : définition et critique 30
3 - La modélisation bio-économique: définition et critique 31
II - La modélisation bio-économique comme outil d'analyse 32
1 - Les modèles : définition et spécificité 32
2 - Le modèle de simulation de croissance des plantes 32
A - Définition et spécificité 32
B - Choix du modèle 33
3 - Le modèle de programmation mathématique: un modèle multicritère, multipériodique et récursif 34
A - Définition et spécificité 34
B - La programmation multicritère 35
a - Objet, limite et formulation générale 35
b - Concepts clés de la programmation multicritère 37
C - La programmation multipériodique-récursive 37
a - Objet, limite et formulation générale 37
b - Concepts clés de la programmation multipériodique récursive 39
III - Conclusion 40

Deuxième partie : Application du modèle bio-économique

Chapitre 3: Caractérisation du domaine d'étude *45*

Section 1: Cadre d'étude **45**
I - Introduction 45
II - Monographie de la ferme 45
1 - Cadre climatique 45
2 - Ressources en eaux 46
3 - Ressources en sol 46
4 - Main-d'oeuvre 46
III - Situation technico-économique: analyse et diagnostic 46
1 - Les activités productives 47

A - Production végétale 47
B - Production animale 48
2 - Les aspects économiques et financiers 49
IV - Conclusion 50

Section 2: Les composantes du projet C.E.S. **51**
I - Introduction 51
II - Objectif et conception du projet 51
III - Les composantes du projet 52
1 - Travaux de conservation des eaux et du sol 52
A - Construction des banquettes 52
B - Entretien des banquettes 52
C - Consolidation des ouvrages 52
D - Entretien des lacs collinaires 52
E - Bandes enherbées 53
2 - Amélioration pastorale et arbustes fourragers 53
3 - Autres composantes 53
IV - Conclusion 54

Chapitre 4: Le modèle bio-économique *55*

Section 1: Détermination des coefficients techniques **55**
I - Le modèle de simulation EPIC 55
1 - La construction d'un modèle de base 55
2 - La validation du modèle EPIC 56
II - Analyse des résultats des simulations 56
1 - Le choix des techniques de production 57
2 - Les résultats d'ordre économique 57
3 - Les résultats d'ordre environnementaux 58

Section 2: Les variables et les contraintes endogènes du modèle économique **60**
I - Les activités productives 60
1 - Les activités végétales 60
2 - Les activités animales 61
II - Formulation de la fonction objective et prise en compte du risque 61
1 - Fonction objectif 61
2 - La prise en compte du risque 63
III - Formulation des contraintes de multipériodicité 64
1 - Contraintes agronomiques 64
2 - Contraintes de main-d'oeuvre 65
3 - Contraintes de traction mécanique 65
4 - Contraintes relatives à l'élevage ovin 65
A - Contrainte d'alimentation 65
B - Contrainte de renouvellement du troupeau 67
5 - Contrainte d'emprunt 69
6 - Contrainte de trésorerie 69
7 - Equation d'érosion 70

IV - Formulation des contraintes de recursivité 70
1 - La S.A.U 70
2 - La trésorerie initiale 70
3 - Les effectifs 70
V - Conclusion 71

Chapitre 5: Analyse des résultats 73

Section 1: Les résultats du modèle de base 73
I - Introduction 73
II - Spécificité du modèle 73
III - Validation du modèle 74
IV - Présentation des résultats du modèle 75
1 - Les activités productives retenues par le modèle 75
2 - Evolution du revenu net annuel 75
V - Evaluation financière du projet 77
1 - Définition et spécificité 77
2 - Démarche générale de l'évaluation financière 78
A - Les investissements 78
a - Coûts d'investissements 78
b - Schéma de financement 79
B - Les amortissements et les renouvellements 79
C - Le compte d'exploitation prévisionnel 79
D - La rentabilité 80
3 - Les critères d'évaluation 80
A - Le taux ponctuel de rentabilité 80
B - Le temps de récupération 81
C - Le flux net de trésorerie actualisé ou valeur actualisée nette (VAN) et taux de rentabilité interne (TRI) 81
4 - Présentation des résultats de l'évaluation financière 81
5 - Analyse de sensibilité 82
A - Présentation des scénarios 82
B - Présentation et analyse des résultats de sensibilité 85
VI - Conclusion 85

Section 2: Les résultats du modèle multicritère 86
I - L'approche multicritère 86
II - Application de l'approche multicritère 86
1 - La méthode NISE *(No Inferior Set Estimation)* 87
2 - La méthode de Compromis (*Compromise Programming)* 87
III - Analyse des résultats obtenus par l'approche multicritère 89

Conclusion générale 93
Annexes 95
Bibliographie 119
Table des matières 125

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-Gamboru.- 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.
39/ **Louhichi (Kamel)** . - Utilisation d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales : cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Application à la ferme Sawaf. - 130 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

EDESSA Centro di Tratamento di Documentos Cientificos
Centro dos Serviços Reprograficos CSR
REPROGRAPHIE INDUSTRIELLE - EDITIONS - PHOTOCOPIES - RELIURES - COPIES COULEURS - IMPRIMERIE
0467 842 766

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.