

Séminaire en économie de la production

DÉPARTEMENT ECONOMIE ET SOCIOLOGIE RURALES-INRA

28 ET 29 NOVEMBRE 2000

LE COUPLAGE DES MODELES AGRONOMIQUES (BIO-TECHNIQUES) ET ECONOMIQUES - ACQUIS ET PERSPECTIVES

Guillermo Flichman
Florence Jacquet

INTRODUCTION :

Le couplage des modèles agronomiques et économiques s'insère dans une démarche méthodologique, parfois explicite mais le plus souvent implicite, qui concerne les fonctions de production.

Si l'on veut analyser les rapports entre les choix de techniques, la politique agricole et certains problèmes concernant l'environnement et les ressources naturelles (pollution par les nitrates et les pesticides, érosion de sols...) il est nécessaire d'employer les outils de modélisation les plus adéquats à ce propos. Dans ce cas, se servir de fonctions de production d'ingénieur (1) est une option présentant beaucoup d'avantages. Etablir les rapports entre les changements de politiques et le choix des techniques, particulièrement quand l'on se trouve face à des changements de politiques très importants (forte baisse de prix ou mise en place de subventions) ne peut se faire en utilisant des données du passé ou du présent, comme c'est le cas s'agissant de la démarche habituelle en économétrie. Celle-ci ne permet pas de résoudre certains problèmes essentiels en raison des caractéristiques des données utilisées pour les estimations statistiques. Ces données sont, par nécessité, basées sur des observations à un certain moment ou au cours d'une période. Dans le premier cas, quand il s'agit d'une analyse transversale, elles peuvent capter seulement une information technique en rapport avec une structure spécifique des prix relatifs. Si une série temporelle de données est utilisée, une partie des effets de substitution générés par le changement de la structure de prix dans le temps pourra être prise en compte. Cependant, il faudrait que les niveaux de variabilité observés soient d'une magnitude comparable à ceux prévus pour le futur pour autoriser la réalisation des prévisions. Par ailleurs, il existe aussi le problème crucial de la mesure du progrès

(1) Chenery, H.B. (1949)

technologique dans les séries chronologique. Même les méthodes les plus sophistiquées pour incorporer le progrès technique s'avèrent pour l'instant, peu convaincantes.

Il ne s'agit pas ici de faire une critique aux méthodes économétriques, mais à leur utilisation habituelle, qui repose sur des informations qui ne sont pas aptes à produire des prévisions quand les changements des politiques sont d'une grande ampleur.

Les modèles agronomiques peuvent être considérés par l'économiste comme des fonctions de production d'ingénieur très détaillées. Ces fonctions de production d'ingénieur, peuvent être utilisées aussi bien dans des modèles de programmation mathématique (2) où elles fournissent des coefficients techniques, que dans des modèles économétriques. (3)

ACQUIS METHODOLOGIQUES

Ces modèles agronomiques sont généralement sophistiqués. En effet, si l'on s'en tient à des phénomènes biologiques purs où les relations inputs/outputs sont générées par les lois de la nature, la fonction de production est simplement constituée par l'expression mathématique de ces lois. Il en est ainsi des relations biochimiques qui transforment l'énergie en biomasse et qui sont à la base des modèles bio-physiques. Mais ces modèles agronomiques simulent des processus associés tels que l'interception de la lumière, la consommation d'eau et de nutriments, la conservation d'énergie en biomasse et sa répartition entre les racines, les parties aériennes et le grain mais également les effets des actes techniques qui caractérisent la production agricole : séquences et types de travaux effectués, conséquences des choix techniques sur la production et l'écosystème et effets de la succession des cultures. La modélisation complète de l'ensemble du processus technique, biologique et bio-physique (processus du sol et du climat) et de leurs interrelations conduit ainsi à un modèle agronomique. Ces modèles sont ainsi généralement 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.

Dans la littérature ces modèles sont désignés comme modèles bio-physiques, modèles environnementaux, modèles de croissance de plantes ou modèles bio-techniques. Cela dépend essentiellement du regard de l'utilisateur et de l'usage qu'il en fait.

L'utilisation de la méthode de couplage de modèles permet de tenir compte du caractère très complexe de certaines relations entre la production agricole et ses impacts environnementaux.

(2) La plupart des recherches utilisant le couplage des modèles bio physiques et économiques utilisent la programmation mathématique.

(3) Vicien (1989) Dans ce travail, des fonctions translog sont estimées à partir des données simulés avec EPIC.

Dans certains cas, la production des externalités négatives peut augmenter avec l'augmentation de la production, pour diminuer ensuite et augmenter encore si la production s'accroît de nouveau. Autrement dit, il arrive très souvent que les fonctions ne soient pas convexes. Les conséquences de la non-convexité ne sont pas seulement théoriques (nous sommes très loin de la présentation standard de l'économie de l'environnement), mais elles ont aussi des implications pratiques concernant les instruments pour internaliser les externalités. Considérant l'application d'une taxe à l'input polluant, les effets seront très différents selon les cas. Ainsi, l'on se situe dans la première ou la troisième section de la fonction, une taxe à la production réduirait l'externalité, mais si l'on se situe dans la deuxième, l'effet obtenu serait inverse de celui recherché. Il existe beaucoup d'exemples concrets de ce caractère "sinueux" de la fonction de production d'externalités (fonctions avec un ou plusieurs points d'inflexion). Un exemple sera présenté dans la troisième partie de ce document. Ce même type de problème se retrouve dans d'autres relations agriculture-environnement, par exemple dans le cas de l'érosion des sols. (4)

L'utilisation des modèles agronomiques comme source d'information pour estimer les fonctions de production y compris la production d'externalités, permet d'introduire un niveau de finesse et de précision impossible à atteindre par d'autres moyens.

Les premiers travaux utilisant le couplage de modèles ont été élaborés dans le cadre de la modélisation bio-économique "classique"(5). Il s'agit ici de modèles dynamiques dans lesquels les équations de transition ou de mouvement sont construites à partir de modèles biologiques (lois de croissance des populations de poissons aussi bien que des espèces forestières, etc.) En général, les méthodes utilisées pour résoudre ce type de modèle sont celles habituelles en contrôle optimal. Dans leur version la plus courante, ce type de modèle s'adapte mal en économie agricole pour traiter des problèmes concernant l'analyse de l'impact des politiques. La raison de cette mauvaise adaptation est double. D'une part il s'agit de modèles normatifs, qui ne suffisent pas dans la plupart des cas à l'aide à la décision en politique agricole. Dans l'analyse d'impacts des politiques il est également nécessaire de disposer de modèles positifs, c'est à dire d'outils susceptibles de reproduire d'abord le comportement des agents pour pouvoir ultérieurement, en modifiant les paramètres qui représentent les politiques, établir des prévisions. D'autre part, il existe une raison technique limitant considérablement l'application des méthodes habituelles en contrôle optimal à la plupart des problèmes agricoles : le système de résolution permet de travailler avec peu de variables. Il existe un nombre réduit de publications où des modèles dynamiques d'optimisation sous contraintes sont utilisés, ce qui

(4) Plevne, Goetche, (1999)

(5) Biblio (Clarke, et beaucoup d'autres, voir Agr.Systems N° spécial mod.dynamiques)

permet de travailler avec plusieurs variables grâce aux algorithmes disponibles habituellement employés en programmation mathématique (6)

Dans les années 1970 commencent à être élaborés des modèles agronomiques de croissance de plantes. Les premiers modèles bio-techniques de ce type ont été conçus pour simuler la croissance d'une seule espèce (7) sur un environnement donné. Plus tard, une nouvelle catégorie de modèles a été développée permettant de simuler la croissance de multiples cultures, en incorporant de manière dynamique les effets cumulatifs de la production agricole sur les conditions du sol (érosion, fertilité, réserve d'eau, etc.) C'est le cas des modèles EPIC (8), CROPSYST (9) et plus récemment STICS (10).

L'utilisation de ces modèles comme source d'informations commence alors à se développer rapidement afin de créer des coefficients techniques à introduire dans des modèles de programmation mathématique ou pour estimer des fonctions de production d'ingénieur. Les premiers travaux apparaissent aux Etats-Unis, en dehors du contexte académique proprement dit, à l'initiative de l'USDA. Il existait alors une priorité en matière de politique de conservation des sols ; de ce fait, les recherches initiales ont porté essentiellement sur le problème de l'érosion des sols et ses effets concernant la productivité agricole à long terme aux Etats-Unis. Plus tard, les travaux ont porté aussi sur la question de la pollution diffuse d'origine agricole, aussi bien provoquée par les nitrates que par les pesticides (11). Le modèle sectoriel américain construit par Atwood, J, McCarl, B et al. (12) utilise les résultats des simulations réalisées avec SWAT (13), pour obtenir les impacts environnementaux des choix agricoles. SWAT est un modèle qui fonctionne à l'échelle d'un bassin versant. Toujours aux Etats-Unis, mais concernant des pays très divers, d'autres travaux ont été développés plus récemment, particulièrement analysant la dégradation des sols (14). En Europe, l'idée de couplage des modèles agronomiques et économiques est proposée par Flichman (1986) et par Jacquet et Flichman (1988). La première application est une étude sur les comparaisons internationales d'efficacité en agriculture, Flichman (1990). Quelques années plus tard, un

(6) Yeates & Rehman, 1998, Standiford & Howitt, 1992 .

(7) La famille des modèles CERES est l'exemple le plus connu.

(8) Williams J.R., Jones C.A., Dyke P.T. (1984)

(9) Modèle développée par C.Stockle et al., Washington State University, USA

(10) Modèle en développement en France par l'INRA, CIRAD, et autres institutions de recherche. Voir référence bibliographique sur "Brisson, N. et al" (1998)

(11) Mapp, Bernardo, Teague(1995); Mapp, Bernardo, Sabbagh, Geleta, Watkins (1994), Bouzaher, Shogren(1997)

(12) Attwood, J.D., McCarl B, Chi-Chung Chen, Eddleman, B.R, Nayda, B, Srinivasan, R. (2000)

(13) Soil and Water Assessment Tool, modèle développé par l'USDA, et Texas A&M University, par Arnold, J.G, Williams, J.R. Srinivasan, R & King, K.W.

(14) Dalton & Masters,(1997), Bouzaher et al (1996)

projet européen – POLEN – a permis la réalisation d'une vaste recherche sur six régions européennes. (15)

Dans ce projet, les effets de la réforme de la PAC ont été analysés du point de vue des changements de revenus, des variations de la production, des impacts sur l'irrigation et sur la pollution potentielle produite par la percolation des nitrates. Cette recherche est basée sur l'utilisation conjointe du modèle agronomique et hydrologique **EPIC** (16), avec un modèle de programmation mathématique. Les indicateurs de pollution potentielle ont été obtenus avec **EPIC**, ainsi que les niveaux de rendements correspondant à chaque technique simulée. Les rapports entre la politique agricole et la pollution par les nitrates ont été particulièrement étudiés. Les résultats obtenus sont différents selon les régions mais les niveaux de pollution potentielle diminuent toujours avec l'application de la nouvelle politique. Dans certains cas, ils sont plus dépendants des conditions climatiques que du changement de la politique agricole. Si l'on impose au modèle une forte réduction de la pollution potentielle, la perte subséquente des revenus des agriculteurs est sensiblement inférieure dans le scénario d'application de réforme que dans celui sans réforme. Dans le cas de la région de Toulouse, une diminution de la pollution de 50 % entraînerait une perte des revenus de 64% (sans réforme) et de moins de 15 %, avec l'application de la nouvelle politique (17).

Plusieurs travaux ont été développés ou initiés par la même équipe, en appliquant ce type de méthodologie dans différents contextes : Italie, Argentine, France, Tunisie, Turquie, Espagne, Burkina-Faso, Honduras(18), soit en construisant des modèles au niveau de l'exploitation soit au niveau d'une petite région ou d'un bassin versant.

D'autres travaux se sont développés parallèlement aux Pays-Bas (19) , au Royaume-Uni (20) En France, les autres applications de la méthode de couplage de modèles sont les travaux menés par l'équipe de l'UMR LEERNA à Toulouse, ou le modèle EPIC-PHASE est couplé, soit avec un modèle de contrôle optimal - Couture et Bontemps (1999), Couture (1999), soit avec un modèle économétrique utilisé pour analyser le problème de la pollution par les nitrates et les pesticides (Amigues et al, 1998).

(15) Voir Donaldson et al (1995), Boussemart et al (1996), Flichman et al (1995)

(16) EPIC a été validé dans toutes les régions étudiées (situées en Espagne, France, Italie, Portugal et le Royaume Uni) sous la supervision de l'équipe d'Agronomie de l'**INRA-Toulouse (MM. M. CABELGUENNE et P. DEBAEKE)**.

(17) Les effets de politiques alternatives ont été analysés (Flichman 1995) à partir du modèle élaboré pour le projet POLEN appliqué à la région de Toulouse.

(18) Deybe (1994), Blanco (1996), Carpy (1997), Barbier (1996, 1999,2000), Louhichi , Flichman et Zekri (1999), Plevne (1999), Mimouni, Zekri et Flichman (2000), Carpy-Goulard (1997)

(19) Ruerd Ruben, Henk Moll, Arie Kuyvenhoven, (1998)

(20) Lowe, P, Falconer, K, Hodge, I, Moxey, A, Ward, N and Whitby, M (1999)

EXEMPLES D'APPLICATION :

1 - La pollution par les nitrates, dans un modèle de programmation linéaire couplé avec EPIC-PHASE

La démarche du couplage de modèles bio-techniques et économiques implique, dans un modèle économique situé "en aval" dans le processus de recherche, l'utilisation des informations en provenance d'un ou de plusieurs modèles biotechniques. Si un économiste aborde le problème de la pollution par les nitrates en utilisant des données exclusivement "économiques", la seule manière de faire sera d'établir des relations entre les coûts et les profits des activités agricoles et les coûts de la pollution. Ces derniers seront mesurés en utilisant les dépenses nécessaires pour conserver la qualité de l'eau potable ou par des travaux d'enquête permettant de définir la disposition à payer des consommateurs pour obtenir une eau non-polluée.

La fonction de production ainsi construite mettra en rapport volumes de pollution et quantités produites et/ou quantités d'inputs utilisés.

Il peut arriver, et c'est n'est pas une exception, que dans certaines situations une augmentation d'une production polluante produise une diminution de la pollution ou qu'une augmentation de l'utilisation d'un input à l'origine de cette pollution, puisse être associée à une diminution de l'externalité. Cela s'explique dans ces deux cas par un changement dans les techniques utilisée (sans qu'il s'agisse du progrès technique). Un exemple serait le passage d'une production de maïs en sec au maïs irrigué. Il peut même se trouver que la pollution augmente pour certains niveaux de production, diminue ensuite puis augmente de nouveau. Cela se ressemble au fameux "reswitching" (21) des techniques, étudié par les économistes de Cambridge dans les années 1950' et 1960'.

Dans le débat sur la théorie du capital, les économistes de l'école de Cambridge (UK) ont démontré la possibilité du retour des techniques (reswitching) : une technique rentable pour un taux d'intérêt donné peut devenir non rentable pour un taux supérieur pour ensuite redevenir rentable à un taux encore plus élevé. Ce phénomène est similaire à celui que l'on trouve dans le cadre de l'analyse des externalités agricoles. Les économistes néoclassiques - Samuelson (1966) – ont accepté que théoriquement le phénomène de retour de techniques puisse exister si le capital n'est pas homogène, mais ils considèrent que de toute manière il s'agit seulement d'un phénomène exceptionnel. Ce qui est certain c'est que concernant les externalités négatives agricole, ce phénomène n'est pas du tout exceptionnel.

Afin de saisir la relation entre le choix des activités agricoles et les externalités négatives, on ne peut pas se contenter des données généralement utilisées par les économistes (volumes de production, inputs agrégés, etc.), on doit disposer des données plus fines sur les relations input-output, en termes physiques. C'est ce que nous permettent de faire les modèles bio-techniques.

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

Pour illustrer nous présentons quelques exemples issus de nos récents travaux.

Nous avons élaboré un petit exemple, basé sur des données réelles de la région Midi-Pyrénées. Dans ce cas, les activités possibles prises en compte dans le modèle sont :

- maïs en continu
- rotation maïs/blé
- rotation soja/blé

Les données de rendement et de pollution sont obtenues par l'utilisation du modèle EPIC-PHASE pour différents niveaux de fertilisation azotée. La pollution étant entendue ici au sens de pollution potentielle, c'est à dire quantité de nitrates lessivés, qui est l'indicateur fourni par EPIC-PHASE.

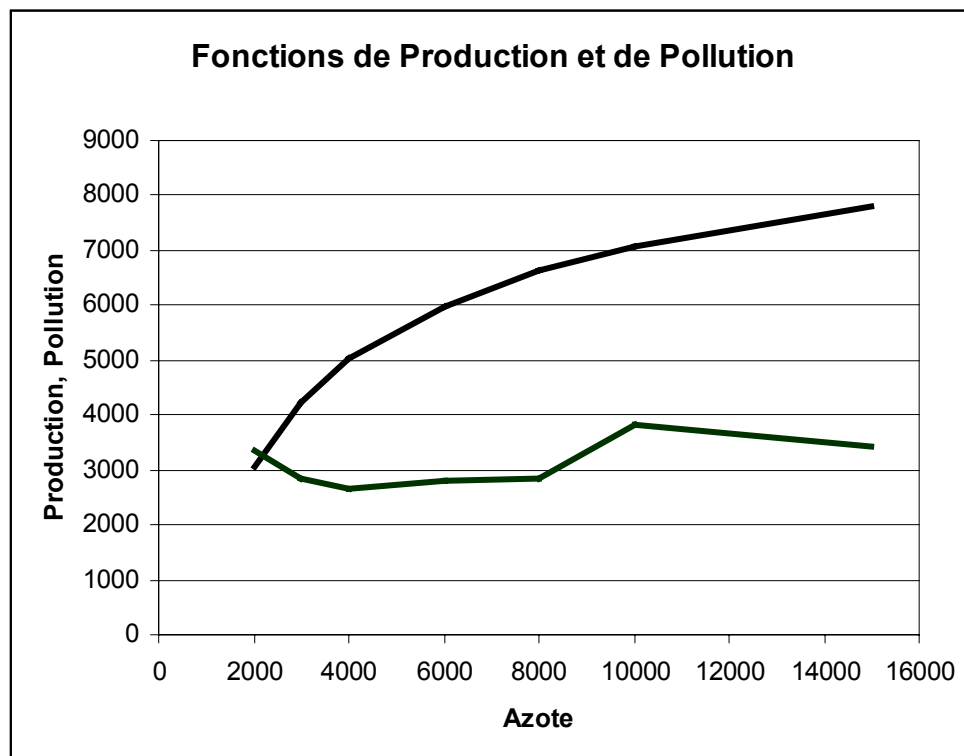
Chaque activité peut s'effectuer avec trois niveaux de fertilisation azotée. Pour simplifier, nous n'avons pas introduit des niveaux d'irrigation différents pour le maïs et le soja, toujours irrigués dans cet exemple. Volontairement, afin de mettre l'accent sur l'apport du modèle bio-techniques, nous avons construit un modèle où ne sont pas représentés les contraintes classiques d'un modèle d'exploitation agricole (travail, trésorerie, risque...) Les contraintes du modèle sont les disponibilités d'eau et de terre.

A partir des résultats obtenus nous avons estimé :

- la production en fonction de la fertilisation azotée
- la pollution en fonction de la fertilisation azotée
- la pollution en fonction de la production

La production en fonction de la fertilisation correspond parfaitement à la théorie standard, comme on peut observer dans le graphique 1.

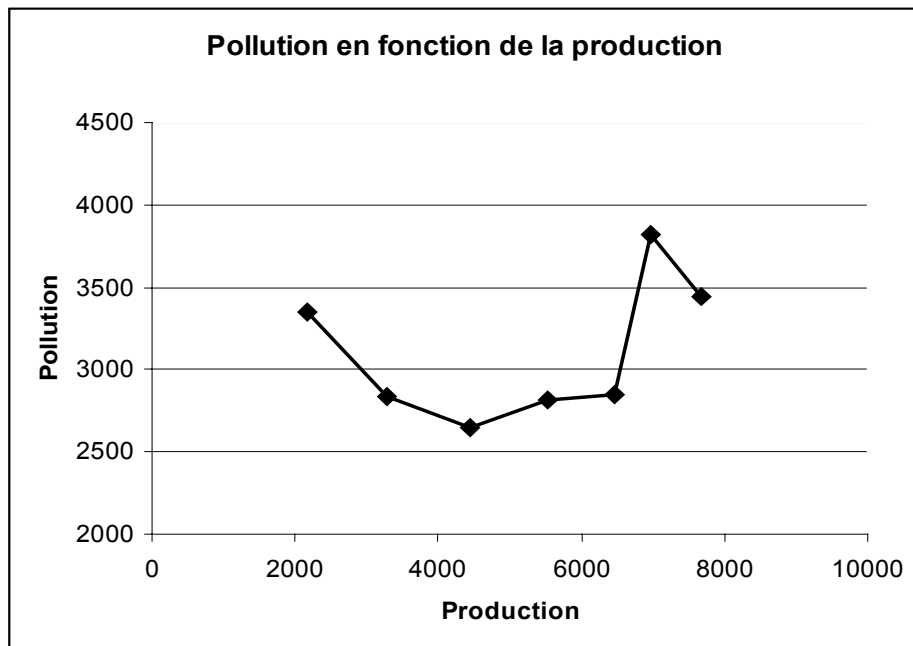
Graphique 1



La pollution, par contre, diminue, augmente, puis diminue de nouveau à mesure que la quantité d'azote appliqué s'accroît.

Si nous observons la pollution comme fonction du volume de production les résultats sont les suivants :

Graphique 2



Il suffit d'examiner les assolements correspondants à chaque situation pour comprendre ces résultats apparemment paradoxaux.

Sans restriction à la quantité d'azote appliquée, les seules contraintes actives du modèle sont la terre et l'eau. La solution est une combinaison de la rotation blé-maïs la plus intensive (en fertilisation) et maïs-maïs, la plus intensive également. Si l'on introduit une contrainte à l'azote, le modèle continue d'abord avec les mêmes rotations, mais en utilisant des techniques moins intensives, ce qui diminue la pollution. Ensuite, si la contrainte à la fertilisation est plus importante encore, le "reswitching" se produit en raison de l'introduction de la rotation blé-soja, rotation utilisant peu d'azote mais ayant un caractère extrêmement polluant.

Cet exemple n'est pas du tout exceptionnel : même sans introduire une légumineuse, seulement avec des rotations différentes ou l'on combine de cultures en sec et en irriguée, il est possible de trouver ce type de non-convexités.

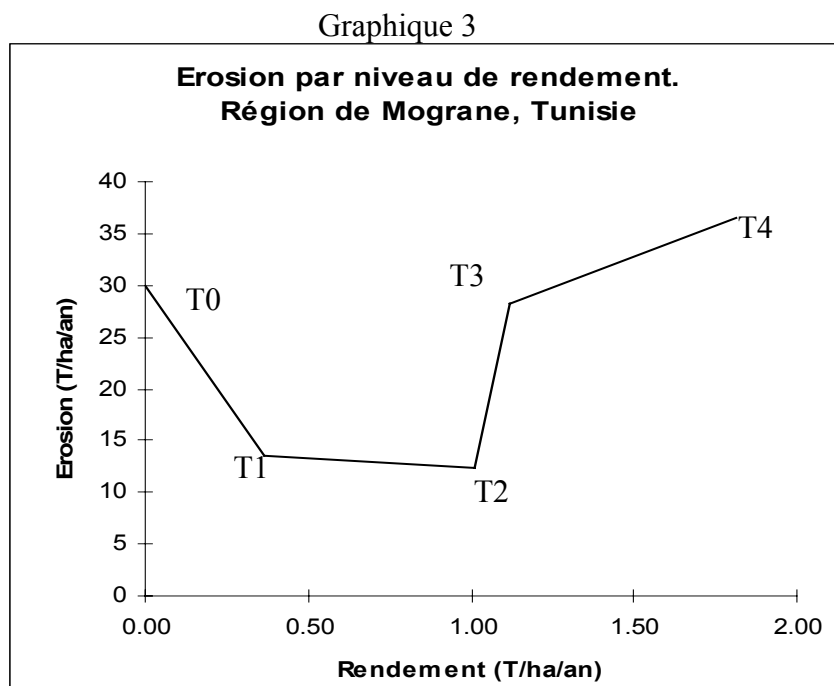
2 - L'érosion de sols, à partir de simulations réalisées avec CROPSYST.

Une recherche réalisée dans un autre contexte, aussi bien du milieu que de problématique, permet de retrouver le même type de problème. Plevne (1999) a démontré que le niveau d'érosion pouvait diminuer avec une augmentation de la production. Cela se produit si l'on passe d'une rotation blé-jachère (typique en région semi-aride) à une rotation blé-orge ou blé-blé. Dans le premier cas, le sol nu une année sur deux permet de constituer une réserve d'eau,

ce qui explique cette pratique, mais par ailleurs cette rotation provoque un niveau d'érosion très important dans la période de jachère, où le sol n'est pas couvert par la végétation. La production moyenne annuelle augmente avec la rotation blé-blé et l'érosion diminue ... Plus récemment, Louhichi (2000) a développé un exemple à partir des simulations avec le modèle CROPSYST (22) pour quatre types de sols dans une région semi-aride de la Tunisie. Il trouve des fonctions d'érosion similaires à celles présentées plus haut sur la pollution, mais travaillant sur une seule rotation (blé-jachère) et changeant les techniques de culture avec un sens d'accroissement de la production :

- jachère travaillée labour superficiel sans fertilisation (T0)
- blé, labour superficiel (T1)
- blé, labour superficiel avec fertilisation (T2)
- blé, labour profond avec fertilisation (T3)
- blé, labour profond avec fertilisation et irrigation (T4)

Les simulations réalisées ont mis en évidence les relations suivantes :



Dans le cas de la jachère travaillée, T0, la production est nulle et l'érosion très importante. En utilisant T1 la production augmente et l'érosion diminue, entre T1 et T2 la production continue d'augmenter mais le rythme de diminution de l'érosion s'amenuise. Entre T2 et T3 l'érosion augmente avec la croissance de la production ainsi qu'entre T3 et T4, mais à un rythme plus faible.

(22) Voir note 10

Nous avons observé des exemples concrets dans des contextes très différents et concernant dans un cas la pollution et dans l'autre l'érosion. Il est légitime de supposer que s'agissant des problèmes réels d'environnement et ressources naturelles, ces "curiosités" sont plutôt la règle que l'exception.

3 - Conséquences sur l'analyse et l'élaboration des politiques

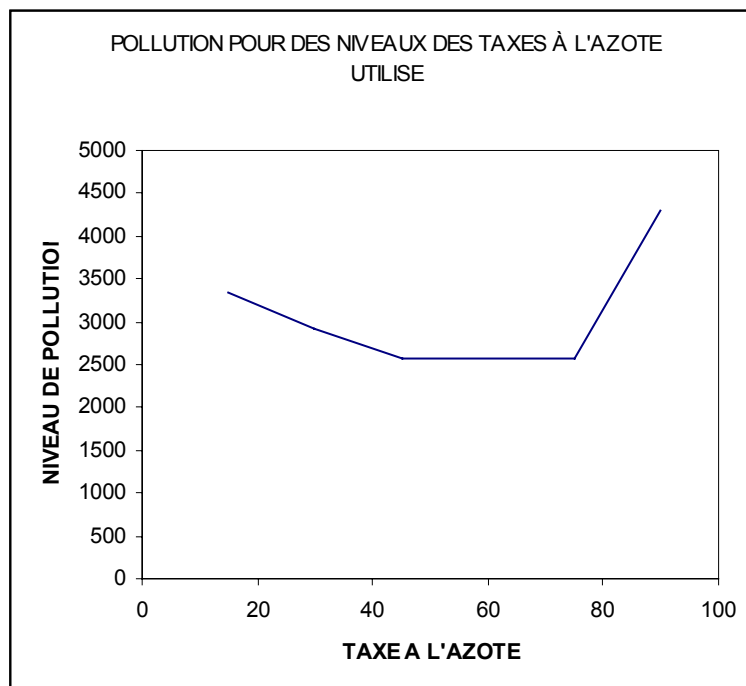
Remarquons d'abord que ces problèmes de non-convexité sont quelques fois évoqués, sans que les conséquences en termes des méthodes d'analyse et des politiques en soient pour autant tirées.

En ce qui concerne les méthodes d'analyse, il apparaît donc nécessaire pour l'économiste qui travaille sur ce type de problème de recourir aux méthodes et connaissances relevant d'autres disciplines. Le couplage des modèles agronomiques et économiques est une réponse possible.

On ne dispose pas de données statistiques sur les techniques. Un modèle basé sur des données statistiques de production et de consommation d'intrants mettrait en évidence des rapports admis pour la vision standard de l'économie de l'environnement : plus de production, plus de pollution ; plus de production, plus d'érosion. A partir de ce type d'informations on pourrait être amené à préconiser l'abandon des activités productives dans des zones marginales afin de réduire la dégradation des sols, l'imposition des taxes à la production ou à l'utilisation d'une taxe aux fertilisants pour diminuer la pollution. Si la situation est comme celle que nous avons montrée dans notre exemple sur la pollution, l'effet d'une taxe peut être même contradictoire avec l'objectif attendu.

En faisant des simulations de taxation à l'utilisation d'azote sur l'exemple Midi-Pyrénées présenté plus haut, nous trouvons les résultats suivants :

Graphique 4



En appliquant une taxe aux nitrates, on peut obtenir une diminution de la pollution, mais si la taxe augmente, à un certain point la pollution peut augmenter aussi (23).

A partir de cet exemple, il est facile d'apprécier qu'en termes de politique pour réduire la pollution, l'utilisation d'un cahier de charges conditionnant les subventions au respect d'un code de bonnes pratiques (éco-conditionnalité) est un instrument qui peut s'avérer plus efficace. Reste le problème du contrôle, que nous ne traiterons pas ici, remarquons simplement que dans les cas où le cahier des charges consiste à respecter une certaine rotation culturale, le contrôle ne pose pas de difficultés majeures. Concernant l'érosion, la principale politique utilisée pour la combattre aux Etats-Unis est, précisément, imposer des cahiers de charges très stricts concernant les types de labours admis dans chaque région agricole et pour chaque culture.

ATOUPS, LIMITES ET PERSPECTIVES

1 – Atouts : Simuler un univers des possibles

- La simulation bio-physique est apte à générer des données qui correspondent à différentes situations climatiques, en conservant les mêmes types de variété, niveaux de fertilisation, etc. Cela permet d'isoler l'effet de la variabilité des rendements due au climat, mieux qu'en utilisant des données réelles ou expérimentales, qui ont toujours beaucoup de "bruit". En effet, même pour estimer une fonction de réponse à l'azote il est difficile de disposer de données appropriées. Ceci a été fait en France seulement dans le cas de la région de Toulouse, où le dispositif expérimental avait été mis en place par le Département d'Agronomie de l'INRA de manière cohérente avec les besoins de calibrage d'un modèle agronomique. Il est fréquent que les agronomes changent les variétés ou les techniques chaque année, ce qui empêche d'isoler l'influence de la variabilité climatique sur les rendements d'une manière rigoureuse.
- Par ailleurs, les données simulées concernant la pollution ou la dégradation des sols sont parfaitement consistantes avec l'information sur les rendements, dans la mesure où ils proviennent de la même source. En effet, les modèles bio-techniques intégrés (style EPIC, CROPSYST, SWAT ou STICS) simulent des rendements en fonction de l'itinéraire technique, qui provoque aussi des effets concernant la dégradation des sols (érosion, salinité) ou la pollution. Les relations entre les rendements et la production d'externalités sont estimées dans le même système par des fonctions mécanistes explicites. Ceci permet, comme nous l'avons souligné, de représenter des phénomènes apparemment paradoxaux mais bien réels.

L'utilisation des modèles bio-techniques rend possible une meilleure prise en compte du progrès technique, en simulant les effets de l'introduction de nouvelles variétés, même si elles n'ont pas encore été expérimentées sur un site déterminé. Nous avons réalisé une simulation

(23) Scola (1992) a trouvé des résultats de ce type dans une recherche réalisée dans la vallée du Pô.

de ce type (24), en introduisant les paramètres de variétés du blé français, sur le sol et le climat d'une région agricole argentine. Avec l'aide précieuse de R. Lopez, Professeur à la Faculté d'Agronomie de l'Université de Buenos Aires, les paramètres ont été adaptés le mieux possible aux conditions locales, particulièrement en ce qui concerne la durée du cycle végétatif. Il est apparu que, sans irrigation, les rendements restaient sensiblement inférieurs de rendements français, en raison des conditions climatiques (pluviométrie déficitaire). Cela a permis de différencier, dans la recherche des avantages de chaque région, les facteurs techniques de facteurs naturels et de facteurs strictement économiques comme la structure de prix relatifs.

2 – Limites : Problèmes d'échelle, caractéristiques des modèles bio-techniques disponibles

Les modèles bio-techniques fonctionnent sur des unités territoriales définies par des caractéristiques physiques : sol, climat, géomorphologie, hydrologique. L'information économique est toujours disponible, soit sur la base d'enquête à l'échelle de l'exploitation agricole, soit sur la base des définitions territoriales administratives. Il est donc nécessaire de trouver un compromis, toujours insatisfaisant.

Les modèles actuellement disponibles ne sont pas les plus adaptés au couplage avec les modèles économiques. Certains sont trop simples, comme ceux élaborés par la FAO pour l'irrigation : ils ne tiennent pas compte des autres inputs, comme la fertilisation. D'autres ne simulent pas les effets dynamiques des rotations culturales parce qu'ils sont spécifiques à une culture, comme la famille des modèles CERES. Les plus complexes, en revanche, sont des outils qui présentent un grand intérêt pour les sciences du sol, l'hydrologie, la physiologie végétale, mais dont la composante "mécaniste" représente des processus en phase de recherche. Ceci les rend peu robustes, et donc d'une utilisation difficile pour les économistes. Dans cette catégorie se trouvent de modèles comme CROPSYST et STICS. Les seuls modèles qui se sont avérés adaptés aux besoins du couplage sont les modèles EPIC, EPIC-PHASE et SWAT, dont le dosage des composants mécanistes et empiriques permet de les utiliser comme une fonction de production d'ingénieur, adaptable à plusieurs cultures et applicable dans des situations très diverses avec une robustesse acceptable. Ceci explique que la grande majorité des économistes qui pratiquent le couplage de modèles les utilisent (voir bibliographie). Il est d'ailleurs intéressant de remarquer la présence d'économistes (25) dans l'équipe de recherche qui a élaboré EPIC.

3 – Perspectives

Les nouveaux objectifs des politiques agricoles : découplage des aides, éco-conditionnalité, rémunération des aménités environnementales rendent le couplage des modèles agronomiques et économiques particulièrement pertinent. En effet, l'analyse d'impact comme l'élaboration de

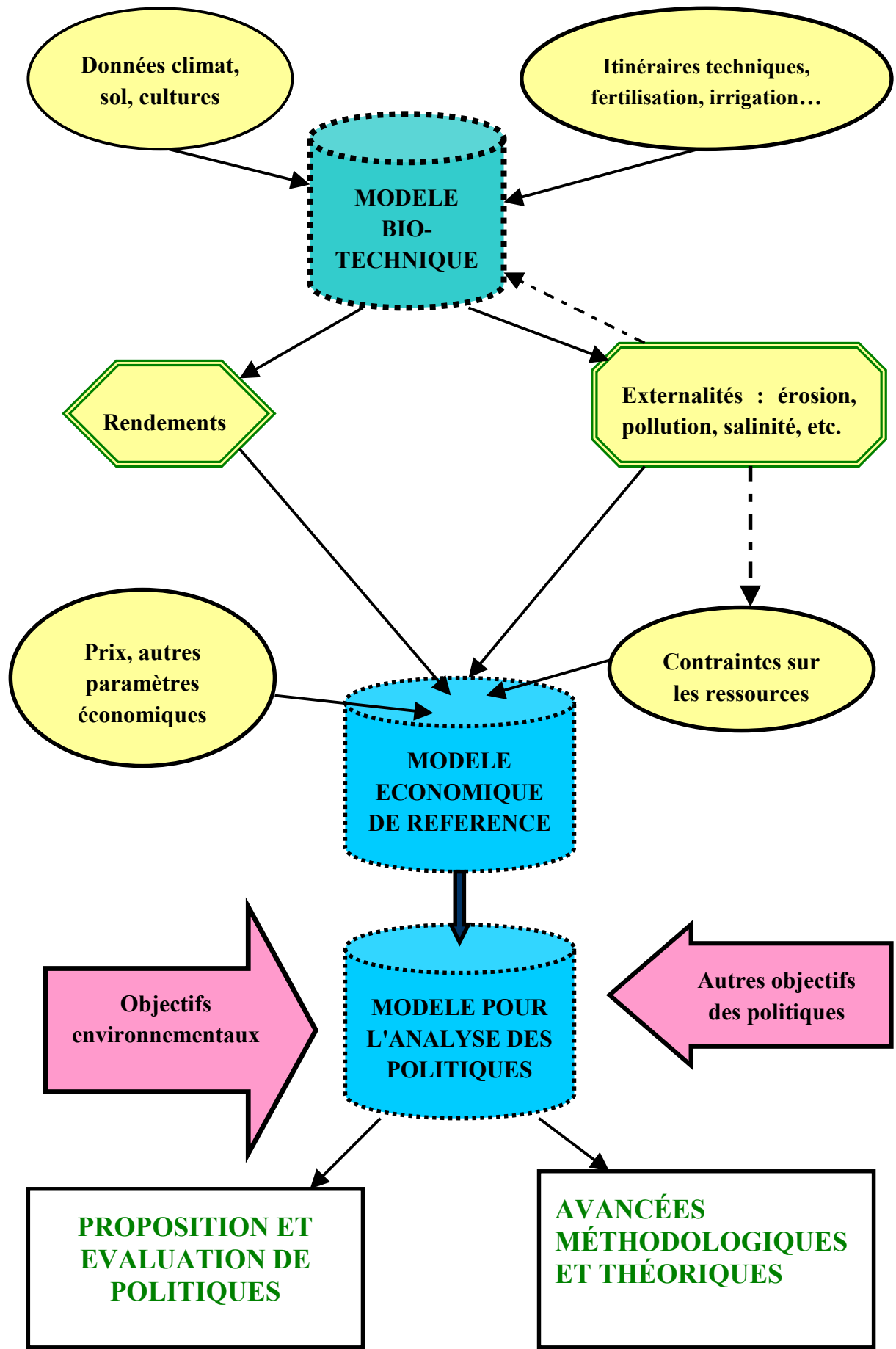
(24) Flichman (1990)

(25) Paul Dyke et Jay Atwood

ces politiques supposent d'évaluer avec précision les effets des changements des pratiques agricoles qu'elles induisent sur l'environnement.

La construction d'outils plus performants de ce point de vue requiert un travail rassemblant des chercheurs de différentes disciplines dans une démarche de construction collective. Le problème est que du point de vue de l'économiste, les autres disciplines se situent en amont, ce qui apparaît comme une fausse hiérarchie. Le type de modèle agronomique le mieux adapté au couplage pour l'économiste ne sera pas nécessairement celui qui sera le plus avancé du point de vue des sciences agronomiques. De la même manière, les compétences économiques demandées par les agronomes ne sont pas toujours issues de la pointe de la recherche économique. Une collaboration interdisciplinaire implique nécessairement de répondre à ces deux défis.

MODÈLE BIO-ÉCONOMIQUE BASÉ SUR LE COUPLAGE



BIBLIOGRAPHIE

1. Amigues, J-P., Bontemps, C., Thomas, A. (1998). Pollutions diffuses et ressources renouvelables in **Gestion des pollutions, protection du consommateur et compétitivité**. INRA, Octobre 1998, chapitre 2 p 49-80.
2. Arnold, J.G, Williams, J.R. Srinivasan, R & King, K.W. Soil and Water Assessment Tool, modèle développé par l'USDA, et Texas A&M University. Référence électronique <http://brsun15.tamu.edu:8000/humus/cgi-bin/>
3. Atwood, J.D., McCarl B, Chi-Chung Chen, Eddleman, B.R, Nayda, B. & Srinivasan, R. (2000) Assessing regional impacts of change: linking economic and environmental models in **Agricultural Systems** 63, 147-159
4. Barbier B. & Bergeron G.. (1999) Impact of policy interventions on land management in Honduras: Results of a bioeconomic model. **Agricultural Systems** 60 1-16.
5. Barbier B. & P. Hazell. (2000) Declining access to transhumant areas and sustainability of agro-pastoral systems in the semi-arid areas of Niger. In: **Property Right and Collective Action** edited by ILRI/IFPRI.
6. Barbier, B. & M. Benoît-Cattin. (1997) Viabilité à moyen et long-terme d'un système agraire villageois d'Afrique Soudano-Sahélienne: Le cas de Bala au Burkina Faso. **Economie Rurale** 239
7. Boussemart, J.P, Jacquet, F, Flichman, G & Lefer, B.H. (1996) "Prédire les effets de la réforme de la PAC sur deux régions agricoles françaises : application d'un modèle bio-économique". **Revue Canadienne d'Economie Rurale**
8. Bouzaher, A. et al, (1995) CEEPES : An evolving system for agroenvironmental policy, in Milon & Shogren (Eds) **Integrating Economic and Ecological Indicators. Practical Methods for Environmental Policy Analysis**, Praeger, pp 67-89.
9. Bouzaher, A., et al. Agriculture Policies and Soil Degradation in Western Canada: An Agro- Ecological Economic Assessment. (1966)
10. Brisson, N, Mary, B, Ripoche, D, Jeuffroy, M.H., Ruget, F, Nicoullaud, B., Gate P, Devienne-Barret, F, Antonioletti, R, Durr, C., Guy Richard, Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X, Plenet, D., Cellier, P, Machet, J.M, Meynard, J.M., Delecolle, R, (1998). "STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn". **Agronomie**, 18, 311-346.
11. Carpy-Goulard, F.(1997) Incidences de l'instauration de politiques économiques spécifiques à la préservation de l'environnement. Mémoire de DEA-ENSAM.M. sous la direction de G. Flichman
12. Chenery, H.B. "Engineering Production Functions" (1949) in **Quarterly Journal of Economics**, No.63, 1949

13. Dalton & Masters, (1997) Soil Degradation, Technical Change and Government Policies in Southern Mali. **Annual Meeting of the American Association of Agricultural Economists**
14. Deybe, Daniel, (1994) **Vers une agriculture durable : un modèle bioéconomique** . Ed. Cirad.
15. Donaldson, A.B, Flichman, & G., Webster, J.P.(1995) "Integrating agronomic and economic models for policy analysis at the farm level: the impact of CAP reform in two European regions". *Agricultural Systems* 48 163-178.
16. Flichman, G. (1986) "Type d'exploitation agricole, alternatives productives et compétitivité". Communication présentée au colloque "Diversification des modèles de développement rural", Min. de la Recherche et de la Technologie, Paris, (9 p)
17. Flichman, G. (1990) International Comparisons of Agricultural Efficiency, OCDE-Centre de Développement – **Technical Papers 21**.
18. Flichman, G. (1995) "Politique économique et pollution des nappes par les nitrates en Europe". **C.R. Acad. Agric. Fr.** 81 n° 7.
19. Flichman, G., Varela Ortega & C., Garrido, A. (1995) "Agricultural policy and technical choice : a regional analysis of income variation, soil use and environmental effects under uncertainty and market imperfections" in **Environmental and Land Use Issues : an Economic Perspective**. Ed. Luis Miguel Albisu & Carlos Romero, Wissenschaft-verlag Vauk Kiel KG, 1995.
20. Jacquet, F & Flichman, G. (1988) "Intensification et efficacité en agriculture". **Economie Rurale** 183
21. Kalecki, (1943) **Studies in Economic Dynamics**, George Allen and Unwin, London.
22. Louhichi, K. (2000) **Thèse Doctoral** (en préparation), sous la direction du Pr. Boisson et de G. Flichman.
23. Louhichi, K., Flichman & G., Zekri, S. (1999) "Un modèle bio-économique pour analyser l'impact de la politique de conservation des eaux de des sols. Le cas d'une exploitation agricole tunisienne". **Economie rurale** 252.
24. Lowe, P, Falconer, K, Hodge, I, Moxey, A, Ward, N & Whitby, M (1999) Integrating the Environment into CAP Reform **CRE Research Report**. University of Newcastle upon Tyne
25. Mimouni, M. Zekri, S & Flichman, G. (2000) "Modelling the trade-offs between farm income and the reduction of erosion and nitrate pollution" **Annals of Operations Research** 94 91-103
26. Oriade & Dillon (1997) Developments in biophysical and bioeconomic simulation of agricultural systems: a review. **Agricultural Economics** 17 (1997)
27. Plevne, G. (1999) Thèse Master IAMM, 1999 sous la direction de G. Flichman
28. Robinson, J (1980) **Collected Economic Papers**, MIT Press

29. Ruerd Ruben, Henk Moll & Arie Kuyvenhoven, (1998) Integrating agricultural research and policy analysis: analytical framework and policy applications for bio-economic modelling, **Agricultural Systems**, **58** (1998) pp. 331-349
30. Scola, G. Thèse Master IAMM 1992.
31. Sraffa, P.(1960) **Production of Commodities by means of Commodities: prelude to a critique of economic theory** (1960) Cambridge University Press.
32. Standiford, R.B. & Howitt, R.E. (1992). Solving empirical bioeconomic models: a rangelaand management application. **American Journal of Agricultural Economics**, **74**, pp. 421-433.
33. Stockle, C. O. & R. L. Nelson. (1996). Cropsyst User's manual (Version 2.0). Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA
34. Vicién, C. (1989) "Les modèles de simulation comme outil pour la construction de fonctions de production : une application à la mesure de l'efficacité de la production agricole" **Thèse Master IAMM**, 189 p. Sous la direction de G. Flichman.
35. White, B, Moxey, A & Ozanne, A (1999) Efficient contract design for agri-environment policy. **Journal of Agricultural Economics**, 50(2): 187-202
36. Williams J.R., Jones C.A. & Dyke P.T.(1984) "The EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) model and its applications", **Proceedings of the International Symposium for Agrotechnology Transfer, ICRISAT**, Patancheru, 111 -121.
37. Yates, C.M. & Rehman, T. (1998) "A Linear Programming Formulation of the Markovian Decision Process Approach to Modelling the Dairy Replacement Problem". **Agricultural Systems** **58**.