

IS
VIC
1989

THESES & MASTERS



*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*

Master of Science de l'IAM-M

Carmen VICIEN

Septembre 1989



Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier
Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes

Série Thèses et Masters

Ce mémoire est le sixième de la nouvelle série *Thèses et Masters* de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (voir liste en fin de volume).

Cette collection réunit les thèses *Master of Science* de l'IAM-M 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 :

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

a été soutenue par Melle Carmen VICIEN en septembre 1989 devant le jury suivant :

Roland PEREZ, Directeur de l'IAM-Montpellier
Jean Marc BOUSSARD, Directeur de Recherche, INRA, Paris
Michel TERRAZA, Maître de Conférences, Montpellier I
Maurice CABELGJENNE, Ingénieur de Recherche, INRA, Toulouse
Guillermo FLICHMAN : Enseignant-chercheur à l'IAM-Montpellier

Le travail de recherche a été encadré par G. FLICHMAN.



CIHEAM
Institut Agronomique Méditerranéen
de Montpellier

Directeur : Roland Pérez

3191, route de Mende
34060 Montpellier Cédex 1- France
Tél. 67 63 28 80 Télex 480 783 F

Bureau des Publications de l'IAMM
Resp. : F. Lerin



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

Master of Science de l'IAM-M

Carmen VICIEN

Septembre 1989



17 109/65

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.

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.*- Montpellier : Institut Agronomique Méditerranéen.- 133 p. (Thèse Master of Science, CIHEAM, septembre 1989).

Ce travail n'a pu être réalisé que grâce à l'aide de la Fundación "Pérez Companc", ma sincère gratitude à tous ses membres.

De même, cette thèse doit beaucoup aux longues discussions avec M. Guillermo Flichman, ainsi qu'aux justes commentaires de M. Jean-Marc Boussard – à eux ma reconnaissance.

Je tiens aussi à remercier à MM. Philip Abbott et Daniel Deybe pour les multiples remarques qu'ils m'ont adressées pendant la réalisation du travail.

Je dois également ma gratitude à MM. Rodolfo Frank et Javier Ekboir pour le temps qu'ils m'ont consacré lors de nos conversations à Buenos Aires.

En outre, il faut mentionner la disponibilité de tous les membres du Service Informatique de l'IAM de Montpellier, en particulier de M. Jean-Pierre Destandau, pendant les longues heures de travail en commun, ainsi que la patience de Mme Claudine Soudais qui a relu le texte et corrigé le français.

Enfin, je veux exprimer ma sympathie (au sens large du terme) à tous mes amis de Montpellier et de Buenos Aires.

TABLE DE MATIERES

I. INTRODUCTION	1
1. La transformation agricole et le contexte international	1
2. Progrès technique et efficacité en agriculture	4
II. L'EFFICACITE DE LA PRODUCTION AGRICOLE	9
1. Productivité, intensification et efficacité : concepts et rapports.....	9
2. L'efficacité selon FARRELL	10
3. L'efficacité et l'utilisation de l'énergie	13
4. L'efficacité dans le cadre des comparaisons internationales	14
A. L'origine des avantages comparatifs.....	15
B. Les avantages comparatifs en agriculture	17
C. Les avantages comparatifs en agriculture : deux modèles	17
5. Les fonctions de production et la mesure de l'efficacité.....	23
III. LA FONCTION DE PRODUCTION : BREF HISTORIQUE	25
1. RICARDO "première version" ou Le principe de la marge extensive	25
2. RICARDO "deuxième version" ou Le principe de la marge intensive	26
3. La généralisation des idées : WALRAS et FISHER	28
4. La parabole néo-classique.....	29
A. La fonction de production agregée.....	29
B. Le capital néo-classique	31
C. Les propositions néo-classiques	32
5. La dernière controverse du capital	32
6. L'après-controverse	34
7. Réflexions finales	35
IV. LES MODELES DE SIMULATION	
 COMME FONCTIONS DE PRODUCTION	37
1. La notion de fonction production.....	37
2. La construction de fonctions de production.....	38
A. Les formes fonctionnelles	38
B. Les données	40
3. Les modèles de simulation.....	41
4. Le modèle EPIC.....	42
5. EPIC comme fonction de production.....	45
V. LE MODELE.....	49
1. Spécification du modèle.....	49
2. La fonction.....	50
3. Les données.....	51
4. Le modèle empirique	52
5. Les estimations.....	53
6. Les caractéristiques des fonctions.....	54
7. Le passage à l'efficacité économique	56
VI. CONCLUSIONS.....	59

ANNEXES

ANNEXE 1 : LES AGRICULTURES ARGENTINE ET FRANCAIS	61
1. Evolution historique de l'agriculture pampéenne	61
A. Les origines	61
B. L'expansion	63
a. Le modèle agroexportateur	63
b. Les éléments constitutives du système	66
b1. La rente foncière	66
b2. Le progrès technique	67
b3. L'immigration	68
b4. Les investissements	69
C. Vers la stagnation	70
a. Les impacts extérieures	70
b. Le modèle autocentré	72
D. La nouvelle expansion	76
a. Le modèle semi-industriel	76
b. Le rôle de l'agriculture	77
c. La transformation agricole	78
c1. Les traits distinctifs	78
c2. Le progrès technique	79
c3. Les aspects sociaux	81
c4. La structure des exploitations	81
c5. Le système de tenure	81
c6. Les nouveaux rapports économiques et sociaux	82
E. Réflexions finales	82
2. Evolution historique de l'agriculture française	85
A. La Révolution	85
B. L'intermède libre-échangiste et la concurrence étrangère	86
C. Le retour au protectionisme	88
D. La première guerre mondiale et les années 1920	91
E. La Grande Dépression et l'accru de l'intervention de l'Etat	92
F. La seconde guerre mondiale	94
G. Des pénuries à l'excédent	94
H. Le Marché Commun	97
a. La Politique Agricole Commune	97
b. La France au sein de la PAC	100
I. Réflexions finales	104
ANNEXE 2 : LES REGIONS	107
1. Tres Arroyos	107
A. Introduction	107
B. Le climat	107
C. Les sols	108
D. Les activités	108
E. Les exploitations	109
2. La Beauce	110
A. Introduction	110
B. Le climat	110
C. Les sols	111
D. Les activités	111
E. Les exploitations	112

ANNEXE 3 : LES EXPLOITATIONS	115
1. Tres Arroyos	115
A. L'exploitation	115
B. Le mode de culture dominant en blé	115
C. L'équipe de matériel agricole	115
2. La Beauce	116
A. L'exploitation	116
B. Le mode de culture dominant en blé	116
C. L'équipe de matériel agricole	116
ANNEXE 4 : LES SIMULATIONS	117
BIBLIOGRAPHIE DU TEXTE	119
BIBLIOGRAPHIE DES ANNEXES	127
LISTE DE GRAPHIQUES, FIGURES ET TABLEAUX	133

I. INTRODUCTION

1. La transformation agricole dans le contexte international

Dès la fin de la seconde guerre mondiale, la caractéristique la plus remarquable des changements produits dans l'agriculture mondiale est l'accroissement du rôle du capital dans la production. Les différentes agricultures adoptèrent des systèmes de production intensifs en capital¹ à des rythmes divers et avec des caractéristiques propres. De toute façon, les grandes lignes sont semblables : le recours à des techniques de production qui font de plus en plus appel au machinisme et qui, de ce fait, élèvent la productivité du travail directement utilisé dans le processus de production, la spécialisation des tâches à l'intérieur de l'exploitation agricole, l'utilisation d'intrants industriels (engrais, pesticides) et de semences améliorées obtenues grâce à la recherche génétique, et enfin, l'intensification de l'élevage sur la base d'une alimentation achetée à l'industrie (CHOMBART de LAUWE, 1979 ; TUBIANA, 1984).

En ce sens, l'agriculture s'industrialise, puisque "la quantité de travail qui intervient directement dans la fabrication d'un volume constant de produit agricole décroît beaucoup plus vite que celle des autres *inputs*". Cette décroissance, en elle-même, permet de rendre compte du progrès technique (BOUSSARD, 1987).

L'agriculture argentine s'incorpore à cette tendance général, avec un certain retard, vers les années 1960. Dans l'évolution de l'agriculture argentine (de même que dans l'ensemble de l'économie) il faut souligner le poids des aspects conjoncturels. La recherche agronomique et l'introduction du progrès technique furent donc marqués aussi bien par l'absence de protection de l'agriculture, que par un contexte économique où le court terme a toujours prédominé sur le long terme. Cette situation est à l'origine des traits distinctifs des systèmes de production adoptés : diversification et intensité en capital relativement basse. Cependant le niveau d'efficacité de la production céréalière argentine est comparativement élevé – si on considère comme mesure de l'efficacité les coûts de production exprimés en quintaux de blé, lesquels selon plusieurs études (CIRIO et REGUNAGA, 1987 ; STANTON, 1986 ; FLICHMAN, 1987) sont plus faibles en Argentine qu'aux Etats-Unis et que dans la Communauté Economique Européenne².

Par contre, la plupart des Etats industriels ont construit leurs agricultures à l'abri d'une protection douanière élevée ou d'un système de subventions et de transferts. De cette façon, les politiques agricoles nationales réussirent à stimuler la modernisation de l'agriculture et à augmenter les rendements physiques. Car, dans plusieurs cas les avantages de l'élévation des rendements ne compensait que partiellement le coût des intrants employés. L'objectif principal des politiques agricoles des pays industrialisés fut donc de stabiliser et d'accroître le revenu des agriculteurs en réduisant en même temps

1. Avec REBOUL (1976) on peut définir un système de production agricole comme "un mode de combinaison entre terre, forces et moyen de travail à des fins de production végétale et/ou animale, commun à un ensemble d'exploitations."

2. "La comparaison des coûts de production de deux pays, s'ils représentent les conditions moyennes de la production pour chacun d'eux, nous donnent la position relative en termes d'efficacité, pour un certain taux de change et pour la structure de prix relatif existante dans chaque pays au moment de la comparaison... (Au delà des problèmes concernant le taux de change et les changements dans les prix relatifs)... cette approche ne permet pas d'expliquer quelle est l'influence des facteurs naturels, techniques ou strictement économiques dans l'explication des différences qu'on trouve dans les comparaisons" (FLICHMAN, 1989).

l'exode rural. De même, des soucis d'ordre social et politique ont fait que les autorités désiraient stabiliser les prix des aliments et assurer l'autosuffisance alimentaire. Ainsi, ces politiques ont contribué à accélérer l'incorporation du progrès technique, qui est le responsable de la croissance accélérée de la production agricole.

En ce qui concerne l'agriculture française, le poids relativement important de la population rurale est à l'origine des motivations politiques de l'Etat dans son choix de protection de l'agriculture. Ce même choix a contribué à l'adoption de systèmes de production très intensifs en capital et, en plus, beaucoup plus spécialisés que dans le cas argentin. C'est ainsi que d'une façon analogue au reste de l'économie, la transformation agricole dans les pays développés se caractérisa par des hausses simultanées de la productivité et de la consommation d'énergie. Or, on peut se demander si cette consommation intermédiaire accrue s'est faite d'une manière efficace, dans le sens du rapport entre les *inputs* utilisés et les *outputs* obtenus.

La protection, sauf exceptions, ne concerne que les pays industriels qui ont pu offrir cet "environnement favorable" au secteur agricole. Ces pays ont eu les moyens pour "financer sous de multiples formes les transferts de fonds en faveur du secteur agricole" (TUBIANA, 1989). Par conséquent, du fait de l'élan donné à l'agriculture par les pays industriels, pendant les années 1960 et 1970 on assiste à un renversement dramatique des flux commerciaux internationaux (TUBIANA, 1984). D'un côté, les pays développés ont augmenté leur part du marché grâce à une augmentation notable de la productivité agricole. De l'autre côté, les pays de l'Est, un certain nombre de nouveaux pays industrialisés et les pays membre de l'OPEP constituent les groupes les plus représentatifs d'acheteurs de produits de base.

Simultanément, dans la même période, on constate un rythme de croissance du commerce mondial de produits agricoles assez remarquable : le taux de croissance s'accroît de 2,9 % par an dans les années 1966-71, de 4,2 % par an entre 1971 et 1976 et de 6,1 % par an de 1976 à 1980, enregistrant des niveaux exceptionnels à la fin des années 1970 (CIRIO et OTERO, 1988). Dans le cas du marché de grains l'augmentation des exportations se concentre dans un nombre limité de pays développés (l'Australie, le Canada, la Communauté Economique Européenne (CEE) et les Etats-Unis) et quelques pays en voie de développement (le Brésil, la Thaïlande et l'Argentine).

A partir de 1981, la scène commença à changer du fait des modifications produites dans l'économie mondiale telles que le renchérissement du dollar, la hausse des taux d'intérêt, la récession mondiale et les restrictions des échanges commerciaux liées au problème de grave endettement des pays en voie de développement et de l'Est européen. L'ensemble de ces facteurs a entraîné la diminution des flux mondiaux des principaux produits de base : la croissance du marché mondial de produits agricoles fut seulement de 1,7 % durant la période 1981-84 (CIRIO et OTERO, 1988).

En conséquence, dans les années récentes, le déséquilibre entre la production et la consommation mondiale et la stagnation du commerce de grains ont contribué à accumuler des stocks d'une façon considérable dans certains pays exportateurs³. Cela est plus notable aux Etats-Unis que dans d'autres pays, du fait de la nature des politiques américaines dans le domaine du stockage, de la

3. "Dans les pays développés, au cours des années récentes, l'accumulation d'excédents qui représentent des fractions appréciables des productions annuelles est finalement financée pas des dépenses budgétaires dont le total impressionnant masque le montant encore plus impressionnant des transferts liés à l'existence de prix excessifs" (BOUSSARD, 1988).

production et des marchés extérieurs⁴. La CEE est aussi excédentaire pour presque toutes les productions agricoles alimentaires tempérées. Or, actuellement les prix mondiaux ne sont pas des prix de revient objectifs mais des prix de vente de surplus.

Ainsi, alors que les perspectives en matière de demande sont moroses et incertaines, les instruments de crédit occupent une place de plus en plus importante dans la stratégie des principaux pays exportateurs, sauf l'Argentine (PETIT, 1985).

En 1985 la chute des prix internationaux⁵ a mis en évidence que les Etats-Unis étaient un exportateur résiduel que perdait sa part de marché à grande vitesse⁶. Afin de compenser cette situation, ce pays élargit les instruments d'intervention par la voie de crédits publics d'exportation qui permettent aux exportateurs d'offrir des crédits mixtes (*blended credits*) et d'un système de garantie de crédits à l'exportation. Ainsi, à travers de multiples mesures les Etats-Unis augmentèrent le pourcentage d'exportations avec des subventions, de moins de 10 %, à la fin des années 1970, jusqu'à 21 % en 1985 (JACQUET, 1986 ; CIRIO et OTERO, 1988 ; REGUNAGA, 1988).

En réponse à cette politique créditrice des Etats-Unis les gouvernements du Canada et l'Australie ont approuvé des programmes similaires de prêt aux exportateurs à travers leurs Offices du Blé. La CEE n'octroie pas de financements pour ses ventes à moyen terme d'une façon directe, mais certains pays membres (comme la France) l'ont fait d'une façon individuelle mais dans un degré moins élevé que les Etats-Unis.

L'autre ingrédient qui complique encore plus la scène internationale est l'exacerbation de la confrontation entre les Etats-Unis et la Communauté Européenne à propos des échanges internationaux des produits agricoles⁷. Ce conflit s'explique par le fait que dans ces deux ensembles économiques, les agriculteurs ont encore un poids politique important et qu'en plus ils occupent une place stratégique, du point de vue économique, dans l'ensemble du système agro-alimentaire. Les capacités de production de ces deux systèmes dépassent le volume de la demande solvable et les rythmes probables de croissance de l'offre et de la demande globales accentueront ce déséquilibre (PETIT, 1985)⁸.

Dans un tel contexte, "comme la production est, en moyenne, supérieure aux besoins solvables, des pressions très fortes sont faites sur l'exportateur chez qui les prix intérieurs sont les plus élevés (évidemment la CEE) pour le convaincre d'abandonner la partie. L'argument avancé pour cela

4. "Les stocks américains de blé sont ainsi passés de 26 millions de tonnes en 1981 à près de 50 millions en 1986, soit plus de la moitié des stocks mondiaux" (TUBIANA, 1986).

5. D'après CIRIO et OTERO (1988) les prix d'exportation des Etats-Unis FOB Golf de Mexique pour le blé chutèrent de 29 % entre 1978-19 et 1986, tandis que les prix argentins descendaient de 40 %. Dans la même période les prix d'exportation de maïs tombèrent de 34 %, alors qu'en Argentine la chute fut de 41 %.

6. "Les exportations américaines diminuent d'année en année et passent de 50 millions de tonnes en 1981-82 à 25 millions de tonnes en 1985-86" (JACQUET, 1986).

7. "La "guerre du blé" éclate en janvier 1983 quand le gouvernement américain rend publique la vente de 1 million de tonnes de farine de blé à l'Egypte, à un prix défiant toute concurrence. Cette transaction ferme les portes de ce marché aux minotiers français" (TUBIANA, 1986).

8. Quatorze pays qui ont tous à souffert de la guerre de subventions que se livrent les Etats-Unis et la CEE, dits des exportateurs agricoles loyaux du fait qu'ils ne subventionnent pas leurs produits agricoles à l'exportation, mènent une bataille afin de forcer les Etats-Unis et la Communauté européenne à accepter dans le sein des négociations du GATT (Accord Général sur le Commerce et les Tarifs Douaniers) une libéralisation de leurs politiques agricoles. Les pays qui forment le nommé groupe de CAIRNS sont l'Australie, l'Uruguay, l'Argentine, le Brésil, le Chili, le Canada, la Colombie, les îles Fidji, l'Indonésie, la Malaisie, la Nouvelle Zelande, la Hongrie, la Thaïlande et la Yougoslavie.

est l'existence, en Europe, d'un désavantage comparatif, qui devrait finalement conduire cette région à abandonner l'idée (...) de continuer à produire des grains" (BOUSSARD, 1989).

En résumé, dès la fin de la seconde guerre mondiale l'influence des politiques nationales sur l'agriculture et le commerce a eu des répercussions très fortes sur le plan international, de sorte que les flux commerciaux ne sont plus le résultat d'une compétitivité basée seulement sur les coûts de production et de commercialisation des pays exportateurs. Dans les années récentes le concept de compétitivité a donc acquis une signification plus vaste due à la multiplicité de mécanismes de protection incorporés aux politiques agricoles et commerciales des différents pays (CIRIO et OTERO, 1988)⁹. Or, ceci aboutit à une situation dans laquelle il existe des pays avec des productions agricoles peu efficaces au niveau international qui peuvent devenir des exportateurs nets dans le cas où les politiques nationales arrivent à compenser l'inefficacité par la voie des subsides à l'exportation et prélèvements à l'importation ainsi que d'autres types de mesures de soutien de leurs agriculteurs¹⁰.

Selon FLICHMAN (1988) on peut considérer que la capacité d'un pays pour défendre sa position comme exportateur d'un produit agricole quelconque ou pour maintenir une production locale déficitaire face à la concurrence des importations internationales, se base sur trois facteurs essentiels : en premier lieu, l'efficacité de sa production agricole, ensuite, l'efficacité de son système de transports, de stockage et de commercialisation, et enfin, le niveau de protection agricole déterminé par les différentes politiques nationales. En général, les deux premiers facteurs sont utilisés afin de définir l'avantage comparatif d'un pays.

En conséquence, les avantages comparatifs ne sont plus le seul fondement afin de définir la compétitivité internationale d'un pays. La capacité d'accès aux marchés est donc associée aux prix de vente et à d'autres instruments, comme les crédits, que les pays exportateurs peuvent offrir aux importateurs (REGUNAGA, 1988).

2. Progrès technique et efficacité en agriculture

Un tel contexte nous amène à nous demander : quand est-ce que l'on peut affirmer qu'un système de production est efficace ? Car très souvent les deux facettes du progrès technique sont confondues : la substitution capital-travail, qui est une conséquence inéluctable de l'accumulation de capital, et l'efficacité de la production agricole (BOUSSARD, 1988 b).

Bien que de nombreuses analyses économiques se soient intéressées à l'efficacité technique et économique de l'agriculture, le terme "efficacité" n'a pas un sens univoque. Car, l'efficacité est un concept "ambigu" qui semble, en apparence, relativement simple (HALL et WINSTEN, 1959). Ainsi, une notion intuitive de l'efficacité fait référence à l'obtention d'un *output* maximal à partir

9. Comme l'indique FLICHMAN (1988) il existerait une espèce de consensus sur les méthodes qui sont utilisées pour quantifier le niveau de protection de l'agriculture : ESP et ESC. Les concepts d'Equivalent Subvention à la production (*Producer Subsidy Equivalent*) et Equivalent Subvention à la Consommation (*Consumer Subsidy Equivalent*) furent élaborés par T. JOSLING et sont largement utilisés par l'OECD, la FAO et l'USDA. De plus, ils sont utilisés dans le cadre des négociations du GATT.

10. "En 1987, les Etats-Unis ont versé 27 milliards de dollars de subventions à leurs agriculteurs et au négoce, tandis que la CEE, en contrepartie des mesures restrictives (plafond pour la production de céréales et d'oléagineux, quotas laitiers) déboursait 23 milliards de dollars" (LECLERCQ, 1989).

d'un ensemble donné des intrants : plus l'*output* sera élevé par rapport à des *inputs* donnés, plus le niveau d'efficacité atteint le sera également.

En ce qui concerne sa mesure, comme l'efficacité est avant tout un concept relatif, il sera nécessaire de spécifier tant les caractéristiques des unités économiques à comparer, que le type de performance de la production à utiliser : coûts de productions, revenus des agriculteurs, fonctions de production "efficaces", isoquants reliant des facteurs de production divers.

Toutefois, malgré les difficultés de définition et de mesure le concept d'efficacité nous semble plus pertinent que ceux de rentabilité ou de productivité pour aborder un certain nombre de problèmes où "l'économie de la production et la politique agricole se trouvent confrontées" (MARSAL, 1982). De plus, il nous semble que saisir les performances économiques d'une exploitation (ou d'une région) revient à une appréhension, la plus exhaustive possible, des diverses facettes d'une même réalité.

Quand l'analyse de l'efficacité s'élargit à l'échelle des comparaisons internationales la ligne de raisonnement nous renvoie à la notion d'avantage comparatif. Dans ce sens HALEY et ABBOTT (1986) considèrent qu'un modèle qui peut expliquer les avantages comparatifs dans l'agriculture doit nécessairement faire une synthèse de deux aspects. D'un côté, il faudra tenir compte du fait que la technologie agricole n'est pas uniforme, ni à l'intérieur d'un pays, ni entre les différents pays. De l'autre, il faut inclure dans l'analyse la dotation de ressources naturelles et humaines des régions à comparer. Toutefois, la plupart des méthodes généralement employées afin de comparer l'efficacité de la production agricole ne permettent pas de distinguer clairement l'influence de ces deux aspects. Il ne sont pas non plus appropriés pour mesurer l'influence que les politiques économiques peuvent exercer dans le court terme (FLICHMAN, 1988).

Pour ce faire, il sera nécessaire de disposer d'un procédé qui nous permette de décrire les différences entre les modèles techniques utilisés dans les divers pays selon les différents environnements physiques. Une forme synthétique consistera à représenter la technologie par des fonctions de production purement techniques.

La fonction de production est donc un outil pour mesurer les différences d'efficacité dans différents environnements physiques, c'est-à-dire des différences d'efficacité dite technique.

Tout cela nous amène à revaloriser la notion de fonction de production comme un catalogue de techniques disponibles, qui coexistent dans le temps et parmi lesquelles les entrepreneurs peuvent choisir (ROBINSON, 1953-54). Il s'agit d'une idée qui nous semble utile et qui présente un sens opérationnel authentique ; la seule contrainte se trouve dans la complexité de son application au monde réel.

Comment représenter la réalité au niveau de l'exploitation agricole, c'est la question que l'on devra se poser. On peut donc simplement retenir qu'il est fondamental de pouvoir représenter l'hétérogénéité existant au niveau des exploitations agricoles si l'on veut arriver à mesurer l'efficacité de la production dans l'agriculture.

En ce qui concerne la notion de fonction de production, elle offre aussi des interprétations très diverses selon les différents contextes. Ainsi, le rapport entre les intrants totaux, représentés dans la généralité des cas par le

capital et le travail agrégés et la production totale observée dans une unité de production quelconque, selon la façon dont elle est estimée par les économétriciens, est très fréquemment un concept assez différent de l'approche dite d'ingénieur présentée par H. B. CHENERY en 1949. Celle-ci est l'application aux processus non-biologiques de l'idée de la fonction de production biologique.

Un très grand inconvénient pour la construction de fonctions de production d'un tel type consiste à dépendre d'un petit nombre d'observations passées qui sont très loin de refléter tout l'éventail des possibilités techniques (BOUSSARD, 1989). Une démarche intéressante consiste à employer des modèles de simulation de la croissance des plantes, qui représentent une fonction de production technique dans le sens original du terme, pour la génération des alternatives technologiques (BOUSSARD, JACQUET et FLICHMAN, 1987).

Ce travail sera donc axé sur cette approche de fonction de production. Nous commencerons par une réflexion théorique sur les idées d'efficacité et de fonction de production pour aboutir à la proposition d'une méthode de construction de fonctions de production qui puisse être appliquée dans le cadre de modèles de mesure de l'efficacité agricole. L'analyse n'a pas la prétention d'être exhaustive, nous rappellerons plutôt quelques idées qui nous semblent indispensables pour arriver à des applications vraisemblables dans le domaine agricole.

Nous appliquerons le procédé proposé à la construction de fonctions de production purement techniques pour la culture du blé en Argentine et en France : deux pays ayant des différences très nettes du point de vue des conditions socio-techniques et du système de prix, qui présentent aussi des systèmes de production paraissant assez éloignés par rapport à l'intensité de capital.

Dans l'ANNEXE 1 nous présentons une description des évolutions historiques des agricultures argentine et française qui nous aidera à mieux comprendre les raisons économiques et sociales des différences actuelles entre les deux pays, notamment au niveau des secteurs agricoles.

Plus précisément, l'étude considérera le cas des exploitations de deux régions qui, tant en Argentine qu'en France, se détachent par leur spécialisation dans la production de blé et qui contribuent dans une large mesure aux productions nationales de cette céréale : Tres Arroyos (au sud-est maritime de la région pampéenne) et la Beauce (au centre du pôle céréalier du Bassin parisien).

Ce travail traite successivement des thèmes suivants :

L'efficacité de la production agricole. L'objectif de cette partie est de présenter un éclairage sur l'analyse de l'efficacité de la production agricole.

La fonction de production : bref historique. Comme la fonction de production est au centre de la plupart des modèles qui essaient d'évaluer l'efficacité dans ce chapitre nous présenterons un historique de la notion de fonction de production ce qui nous aidera à avoir une vision "renouvelée".

Les fonctions de production d'ingénieur. Dans cette partie nous passerons aux problèmes concrets qui se présentent dans la construction des fonctions de production agricoles. On proposera à la fin une méthode pour le

calcul de fonctions de production basée sur des modèles agronomiques de simulation de la croissance de plantes.

Le modèle. Ce chapitre est consacré à la présentation de quelques résultats partiels obtenus avec la méthode proposée dans le chapitre précédent. Finalement nous suggérons quelques lignes possibles de continuation du travail.

Conclusions.

II. L'EFFICACITE DE LA PRODUCTION AGRICOLE

Le mot **efficacité** est si fréquemment employé que la plupart d'entre nous pensent être absolument sûrs de son sens. Cependant les aspects théoriques relatifs à l'efficacité sont si nombreux et, de plus, ils sont si liés entre eux, qu'il est très facile de passer d'une signification à l'autre en confondant les "issues" de la discussion (HALL et WINSTEN, 1959). Dans un tel contexte, nous commencerons ce chapitre par un éclairage de trois concepts clefs et indispensables pour notre analyse, ceux de la productivité, de l'intensification et de l'efficacité.

1. Productivité, intensification et efficacité : concepts et rapports

Les concepts de **productivité**, d'**intensification** et d'**efficacité** de la production sont très souvent confondus et associés d'une façon erronée. Dans le secteur agricole les accroissements de la productivité physique des facteurs ne coïncident pas forcément avec des améliorations de l'efficacité économique de la production. De l'autre côté, productivité et intensification sont liés à la quantité d'intrants utilisés car une assignation plus élevée d'*inputs* aboutit, normalement, à une augmentation de la quantité physique de produit (CIRIO, DANELOTTI et WHITE, 1981).

En conséquence, l'augmentation de la productivité globale des facteurs peut passer par une consommation plus importante de facteurs de production – intensification – si ceux-ci incorporent du progrès technique, mais également par des gains de productivité sans modification de la quantité de facteurs utilisés, notion qui est liée au terme "efficacité" (BUREAU, 1985).

En microéconomie le concept d'**intensification** a un sens précis, il se réfère à une modification de l'utilisation relative des facteurs de production. Si l'on parle de production intensive, la notion ne peut être rigoureuse que si l'on désigne clairement l'unité à laquelle on fait référence (TIREL, 1983). Ainsi, on dit qu'une technique est "intensive en travail" ou "intensive en capital" si la quantité de travail ou de capital utilisée par unité de produit est importante.

Par conséquent, comme le note TIREL (1983) "l'intensification ne s'identifie pas à la recherche de l'accroissement de la production même si dans de nombreux cas seule une augmentation du volume de produit peut justifier économiquement ce processus d'intensification. Cette déformation est apparue historiquement parce que le facteur le plus rigide, le plus rare et le plus onéreux, était la terre. L'exploitation intensive en terre correspondait à une combinaison accrue de travail et de capital qui ne pouvait trouver sa juste rémunération que dans une augmentation de récoltes". C'est pourquoi, le mot "intensif" en économie rurale implique "intensif en autres facteurs que la terre" (BOUSSARD, 1987).

Il faudrait donc éviter d'utiliser le concept d'intensification comme synonyme de modernisation ou d'adoption du progrès technique, et de plus il serait souhaitable de distinguer l'intensification par le travail et l'intensification par le capital (BROSSIER, 1987)¹.

1. En revanche, le mot intensif est souvent utilisé par les agronomes dans un sens un peu différent : "une agriculture sera intensive lorsque le volume de production par hectare est élevé, que ce soit parce que cette

L'autre équivoque provient de la signification que l'on attribue au concept d'efficacité puisqu'on le confond assez souvent avec le rendement, probablement par référence à la mécanique (rendement d'une machine), ou avec la notion plus large de **productivité** (MARSAL, 1982). Or, la productivité se définit comme "un rapport entre une production et les facteurs qui ont permis de l'obtenir". Ces deux grandeurs doivent être perçues comme des "quantités physiques" (VINCENT, 1968).

Par ailleurs, les termes **efficacité** et **efficience** s'emploient en général indistinctement. Du point de vue étymologique le terme efficacité vient du latin *efficacitas*, tandis que efficience dérive de l'anglais *efficiency*. En tout cas, les deux mots présentent une signification similaire².

Au contraire, ABRAHAM-FROIS et BERREBI (1976) font la différence entre efficience technique et efficience économique, qu'ils appellent efficacité. Alors que, MARSAL (1982) indique que le terme d'efficacité s'applique au concept, tandis que celui d'efficience fait référence à sa mesure.

Essentiellement, les mesures d'efficacité impliquent la comparaison de la performance réelle d'une unité économique (soit l'*output*, les coûts, les revenus ou les bénéfices) avec une performance dite optimale. Sous des conditions d'optimisation considérées comme données on suppose qu'une unité économique quelconque est efficace si les conditions optimales sont satisfaites. Evidemment, elle sera inefficace dans le cas où l'unité analysée n'atteint pas les conditions d'optimisation. D'ailleurs, les conditions optimales supposent la spécification d'une fonction objectif et des contraintes sous lesquelles un tel objectif devra être accompli (KASNAKOGLU, 1976).

En bref, l'efficacité est un concept **relatif** ce qui suppose que pour la mesurer il faudra spécifier tant les caractéristiques des unités économiques concernées dans la comparaison, que le type de mesure de la performance utilisée dans ce but.

2. L'efficacité selon FARRELL

Dans un article publié en 1957 M. J. FARRELL critique, d'un côté, l'approche de l'efficacité par des mesures de productivité moyenne de facteurs isolés, tels que le travail, et d'un autre côté, l'utilisation d'indices d'efficacité qui consistent en rapports entre quantités de production et moyennes pondérées de quantités de plusieurs facteurs de production.

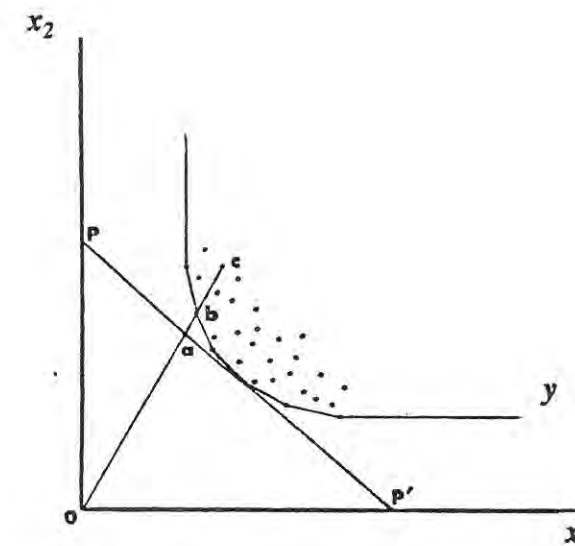
Toutefois, ce qu'il faut remarquer c'est l'**éclairage** apporté par FARRELL à la définition de l'efficacité ; de sorte que la plupart des auteurs qui aborderont après lui ce type de réflexion feront généralement état de son approche (MARSAL, 1982).

Afin de présenter le modèle proposé par FARRELL nous supposerons le cas d'une entreprise ne produisant qu'un seul produit Y , au moyen de deux facteurs de production X_1 et X_2 , et en absence de tout phénomène

lié à l'échelle. Ensuite nous ferons l'hypothèse que l'on connaît déjà la fonction de production efficiente qui lie les trois variables concernées (Y, X_1, X_2).

Dans le **GRAPHIQUE 1** on a représenté une isoquant particulière de cette fonction qui correspond à la production d'une unité de produit, autrement dit, une **isoquant unitaire efficiente**. Cette courbe est le *locus* de points qui représentent les quantités minimales de facteurs de production nécessaires afin de produire une unité d'*output* avec une proportion de facteurs variable (SEITZ, 1970).

GRAPHIQUE 1 – L'efficacité selon FARRELL



Source : SEITZ (1970 – p.506).

Alors que le point B représente la situation théorique d'une entreprise efficiente, le point C montre la donnée réelle d'une entreprise quelconque. Les points B et C sont sur le même rayon à partir de l'origine, en conséquence ils possèdent la même proportion de facteurs. Par la suite, FARRELL mesure l'**efficacité technique** comme le rapport OB/OC . Evidemment, celle-ci sera égale à 1 (ou à 100 %) seulement dans le cas d'une entreprise parfaitement efficace.

Lors de l'introduction des prix, on peut définir une courbe d'isocoût dont la pente est égale, en valeur absolue, au rapport des coûts unitaires des deux facteurs. Il s'agit de la courbe d'isocoût minimale (PP') par rapport à l'isoquant efficiente. L'optimum économique se trouve ainsi au point de tangente de la courbe de coût et de l'isoquant. On définit donc une efficacité du point de vue des prix, dénommée une **efficacité-prix**, qui est mesurée par OA/OB (A étant le point d'intersection de la droite d'isocoût et du rayon OC). L'efficacité prix est le rapport du coût minimal obtenu, lorsque les facteurs de production sont combinés de façon optimale (OA), au coût minimal de la combinaison de facteurs utilisée (OB). On remarquera que, de tous les points sur l'isoquant ayant une efficacité technique maximale, seul le point de tangente de la courbe de coût et de l'isoquant a une efficacité-prix de 100 %.

Enfin on définit une **efficacité économique globale**, mesurée par le rapport OA/OC , c'est-à-dire par le rapport entre le coût unitaire minimal et le coût unitaire réel de l'entreprise observée. On constate que cette efficacité

agriculture emploie beaucoup d'autres ressources (travail et capital) par hectare ou parce qu'elle fait un usage efficace des ressources qu'elle emploie, en particulier grâce à un bon niveau technique" (BROSSIER, 1987).

2. D'après le Petit Robert, efficacité signifie "capacité de produire le maximum de résultats avec le minimum d'effort, de dépense", et efficience, "efficacité, capacité de rendement".

économique globale peut être obtenue en multipliant l'efficacité technique à l'efficacité-prix, car $OA/OC = OB/OC \times OA/OB = \text{efficacité technique} \times \text{efficacité-prix}$.

En conséquence, FARRELL distingue trois concepts : l'efficacité technique, l'efficacité-prix et l'efficacité économique globale³.

Dans un tel contexte l'"efficacité est définie par le fait que l'unité considérée se trouve à la frontière de l'ensemble (convexe ?) des productions possibles" (BOUSSARD, 1987) et sa mesure se fait à partir des écarts par rapport à une norme de référence.

Toutes les définitions précédentes peuvent être généralisées en cas de plus de deux facteurs de production en introduisant, aussi, des économies d'échelle (FARRELL et FIELDHOUSE, 1962), "à condition toutefois d'être en mesure de construire les hyper-surfaces d'isoproduction qui sont nécessaires pour l'application de l'idée" (BOUSSARD, 1987). Ainsi, au-delà des différences quant aux termes employés, une considération plus importante est celle relative à la référence. En effet, ces mesures sont par définition relatives, et exigent donc un dénominateur commun. Or, il est nécessaire de préciser avant toute chose les références adoptées, tant en ce qui concerne les performances physiques, qu'économiques (ABRAHAM-FROIS et BERREBI, 1976).

D'une façon idéale la "fonction de production efficace" devrait être estimée moyennant l'approche de **fonction de production d'ingénieur** proposé par H. B. CHENERY en 1949. Cette fonction représente les rapports technologiques qui sont faisables entre les *inputs* et les *outputs*, indépendamment des observations *input-output* d'un échantillon spécifique. En tenant compte des "difficultés et des coûts" qu'impliquerait l'estimation de ces fonctions de production efficaces "théoriques" FARRELL proposa la construction d'une fonction empirique basée sur des rapports *input-output* observés, dits optimaux. Ainsi, la référence proposée par FARRELL est une "fonction de production efficace" particulière.

Diverses méthodes permettent de construire ces fonctions efficaces, parfois également dénommées "fonctions de production frontière"⁴. Nous pouvons en particulier retenir l'ajustement d'une fonction et le calcul d'indices individuels par programmation linéaire (FARRELL et FIELDHOUSE, 1962 ; SEITZ, 1970). Une autre possibilité consiste à estimer des fonctions de production par des méthodes économétriques, mais en "contraignant" les résidus – les écarts d'efficience – à n'être que d'un côté de la fonction estimée.

En ce qui concerne la référence économique optimale, pour que cette mesure ait un sens, selon ABRAHAM-FROIS et BERREBI (1972) elle doit remplir les conditions qui suivent :

i. "le produit doit être homogène",

ii. "il faut pouvoir supposer que les diverses entreprises sont soumises à la même loi du marché, et que l'efficacité plus élevée de l'une ou de

3. D'une façon schématique, une entreprise passera à une fonction de production supérieure, sans se déplacer nécessairement sur cette fonction, lorsque son efficacité technique augmente, tandis que dans le cas simple de deux facteurs de production, l'efficacité-prix se traduit par un déplacement sur une isoquant, sans changer de fonction (BUREAU, op. cit.).

4. "Par opposition aux fonctions de production moyennes"... Ces fonctions de production frontière "constituent le frontière du domaine des solutions possibles" (MARSAL, 1982).

certaines d'entre elles ne résulte pas de prix plus favorables à l'achat ou à la vente, du fait de la détention de pouvoir de marché ou du fait d'entreprises intégrées opérant des transferts de valeur ajoutée d'une activité vers l'autre par simples conventions comptables".

iii. "il doit y avoir coïncidence des champs d'activité de chacune des entreprises du secteur, c'est-à-dire, un degré de spécialisation identique".

Bien évidemment le système de prix des facteurs introduit également un degré d'hétérogénéité supplémentaire au niveau de l'efficacité relative.

La première des critiques à l'égard de ces méthodes est la complexité de leur mise en oeuvre. Mais, fait plus important encore, comme les mesures de l'efficacité ainsi conçues représentent l'écart qui existe entre la "valeur théorique de la production dans un certain modèle", et la "valeur observée dans la réalité", il est toujours difficile de dire si l'écart que l'on constate provient de la "mauvaise qualité du modèle" ou de l'"inefficacité de l'objet modélisé" (BOUSSARD, 1987)⁵.

BOUSSARD (1987) ajoute un ingrédient intéressant à cette notion d'efficacité, en attirant l'attention sur les contraintes qui peuvent limiter le champ réalisable et, ainsi situer l'agriculteur dans une position inefficace, c'est-à-dire, à l'intérieur du domaine des productions possibles. Ainsi, à cause du risque que prend l'agriculteur, il va avoir une production que dans l'ensemble sera plus faible et plus diversifiée que si le risque n'existait pas (BOUSSARD, 1989)⁶. Malgré cela on n'ira pas jusqu'à affirmer que tous les agriculteurs sont efficaces et qu'ils ont toujours un comportement rationnel à cause de l'existence de ces contraintes plus ou moins "cachées" qui peuvent justifier tous leurs mauvais choix.

On trouve, de même, d'autres méthodes de mesure de l'efficacité, plus ou moins satisfaisantes sur le plan théorique ou pratique, qui se basent sur des analyses de variance, sur le calcul de ratios ou sur l'analyse factorielle⁷.

3. L'efficacité et l'utilisation de l'énergie

Il existe une autre façon d'envisager l'étude de l'efficacité par la voie de l'analyse de l'emploi de l'énergie dans l'agriculture. Comme on l'a évoqué précédemment, la plupart des augmentations de production agricole après la seconde guerre mondiale furent acquies grâce à l'utilisation d'intrants (fertilisants, produits chimiques, machinisme agricole) dont la fabrication et l'application requièrent des quantités élevées d'énergie. Or, d'une façon analogue au reste de l'économie, la transformation agricole se caractérise par des hausses simultanées de la productivité et de la consommation de l'énergie.

5. De plus, ce type de méthodologie est très sensible aux erreurs de mesure puisqu'il est basé sur l'alignement d'un sous-ensemble de points extrêmes (MARSAL, 1982). Autrement dit, on trouve de très forts écarts, tenant, à toute une série de facteurs, entre les fonctions estimées et les données réelles.

6. Selon HILDENBRAND (1981) il est possible de conclure que le concept de fonction de production efficace n'a pas un sens économique significatif dans plusieurs applications où les contraintes techniques imposent des restrictions aux possibilités de production.

7. On trouve une étude plus détaillée des méthodologies de mesure de l'efficacité dans le travail de KASNAKOGLU (1976) ainsi que dans ceux de MARSAL (1982) et BUREAU (1985).

Dans les pays développés, l'expansion agricole de l'après guerre fut marquée par des prix élevés pour la terre agricole et la main d'oeuvre alors que l'énergie présentait des prix relativement faibles. Ainsi, cette structure de prix relatifs conduisit à une amélioration de la productivité du sol et de la main-d'oeuvre, alors que l'efficacité dans l'utilisation de l'énergie ne fut pas considérée (CIRIO, DANIELLOTTI et WHITE, 1981).

Dans les années 1970, le renchérissement relatif de l'énergie conduisit à une réflexion sur les systèmes de production agricole. On trouve donc plusieurs études qui visent à quantifier l'évolution de l'efficacité énergétique dans le cadre donné par l'intensification de la production agricole.

Afin de faire une comparaison des productions obtenues à partir d'une quantité donnée d'intrants, c'est-à-dire d'une certaine quantité d'énergie, on peut utiliser comme *output* soit un bien spécifique (blé, viande, etc.) soit son contenu d'énergie (chaleur de combustion totale ou énergie digestible, selon les cas). Dans le premier cas, les valeurs que l'on obtient se rapprochent plus de l'idée de productivité que de celle d'efficacité. Alors que, dans le deuxième cas, si on établit le rapport entre l'énergie obtenue – production – et l'énergie consommée – intrant – on obtiendra un coefficient qui donne un indice de l'efficacité énergétique car il nous indique quelle fraction de l'énergie apportée par les intrants est transformée en produit physique (CIRIO, DANIELLOTTI et WHITE, 1981).

Il faut préciser que l'énergie utilisée par chaque système de production peut être classifiée en "directe" et "indirecte". La première consiste en énergie issue des carburants et de l'électricité employés comme tels dans la production agricole. Par contre l'énergie indirecte comprend celle qui est consommée dans le processus de fabrication des intrants agricoles (CIRIO, DANIELLOTTI et WHITE, 1981).

De cette façon, on peut arriver à déterminer le rapport entre le produit obtenu et l'ensemble d'intrants utilisés. Le résultat sera un bilan énergétique et celui-ci peut être calculé soit pour une culture spécifique soit pour l'ensemble du secteur agricole du pays. La connaissance du bilan énergétique du secteur agricole d'un pays permettra d'avoir une idée assez proche de son efficacité dans l'utilisation de l'énergie.

Enfin, le recours à l'emploi de l'énergie consommée dans le processus de production permet de surmonter les problèmes posés par l'agrégation des différents intrants utilisés ainsi que des diverses productions obtenues dans les exploitations agricoles. Dans le dernier cas, cela implique une procédure intéressante pour la construction de fonctions de production multiproduit.

4. L'efficacité dans le cadre des comparaisons internationales

Jusqu'ici l'analyse de l'efficacité n'a pas considéré les éléments nouveaux qui peuvent être introduits à cause de son élargissement à l'échelle des comparaisons internationales. Tout d'abord la ligne de raisonnement nous renvoie à la notion d'avantage comparatif afin de mieux comprendre le schéma de distribution des activités dans les différentes régions.

A. L'origine des avantages comparatifs

La notion d'avantage comparatif comme déterminant du commerce international fut popularisée par D. RICARDO. Il convient donc de rappeler l'idée qui a permis à RICARDO de fonder la spécialisation internationale sur l'avantage comparatif, en dépassant la théorie de l'avantage absolu présentée antérieurement par A. SMITH. En prenant l'exemple célèbre de l'Angleterre et du Portugal pour deux produits (le vin et le drap) RICARDO a montré l'intérêt que chacun de deux partenaires peut trouver dans l'échange. Selon la logique de l'avantage comparatif, la comparaison doit se faire, non pas entre les niveaux de coûts du même produit dans les deux pays, mais entre les coûts relatifs de deux produits dans chacun des pays. Ainsi, l'échange international va pouvoir s'établir bien que, dans l'exemple de RICARDO, la productivité soit plus élevée en Angleterre qu'au Portugal pour les deux produits (RICARDO, 1821).

Une lecture de la littérature sur les avantages comparatifs montre la continuité du développement théorique en partant de RICARDO via MILL et MARSHALL, jusqu'à HECKSCHER, OHLIN et SAMUELSON (GOLDIN, 1988).

De nos jours, la plupart des travaux d'orientation néo-classique sur le commerce international s'appuient sur l'explication d'HECKSCHER-OHLIN sur la configuration des échanges internationaux. Ce modèle explique la division internationale du travail en termes de dotations différentes de facteurs dans les différents pays utilisant deux facteurs de production : le travail et le capital. Les hypothèses fondamentales de la version *standard* du modèle sont, d'un côté que les dotations relatives en facteurs sont différentes entre les nations et, de l'autre côté que ces facteurs sont utilisés dans des combinaisons différentes afin de produire des biens différents. Les divers pays auront donc tendance à bénéficier d'avantages comparatifs dans la production de biens qui font un appel intensif aux facteurs dont ils sont le plus richement dotés. En conséquence, chaque pays finira par exporter le bien qui emploie le facteur abondant, en échange de biens importés qui nécessitent un usage plus intensif de ses facteurs rares (HECKSCHER, 1919 ; LINDERT et KINDLEBERGER, 1986).

On remarquera que, alors que les classiques avancent l'hypothèse de fonctions de production différentes dans les divers pays, le modèle de HECKSCHER-OHLIN postule des **fonctions de production identiques** et des facteurs de production qualitativement semblables, en attribuant la spécialisation internationale à des **différences de dotation factorielle**. Autrement dit, la version de HECKSCHER-OHLIN sur les avantages comparatifs a mis l'accent sur la dotation initiale de facteurs utilisés dans la production au lieu d'être emphatique sur le rôle de la technologie. Par ailleurs, les deux théories sont statiques et leur intérêt se pose dans le long terme.

La logique sous-jacente des conclusions de HECKSCHER-OHLIN est mise en évidence par le modèle "deux-deux-deux" (deux facteurs, deux marchandises, deux pays) développé séparément par SAMUELSON et LERNER. Ce modèle montre que l'égalisation des prix des marchandises doit conduire à la complète égalisation des prix des facteurs immobiles dont chaque pays est doté, si la technologie est identique, les deux pays produisent les deux biens et les fonctions de production ne sont pas sujettes à des "renversements dans l'intensité des facteurs"⁸ (LINDERT, et KINDLEBERGER, 1986).

8. "Si un bien a une plus forte intensité en capital qu'un autre bien pour un certain rapport des prix des facteurs, il aura une plus forte intensité en capital pour tous les rapports des prix des facteurs" (LINDERT et KINDLEBERGER, 1986).

Plusieurs économistes vers la fin des années 1950 et le début de 1960 utilisèrent le modèle de LERNER-SAMUELSON afin d'examiner l'avantage comparatif à long terme. Les résultats de certains travaux tentèrent de surmonter les distorsions produites par les simplifications de la théorie de HECKSCHER-OHLIN. La plupart des économistes considérèrent que l'explication des échanges internationaux d'HECKSCHER-OHLIN était vraie dans ses grandes lignes. Cependant, il n'était pas toujours correct de conjecturer la configuration des échanges internationaux à partir d'une analyse qui se limite à deux facteurs de production, et encore, qui suppose, en premier lieu, que les facteurs de production sont semblables du point de vue qualitatif et, deuxièmement, que les fonctions de production sont identiques, homogènes, de degré 1 et sans renversements dans l'intensité des facteurs. Avec toutes ces hypothèses et la caractéristique statique du modèle il semblait que ce que la théorie montrait n'était pas que les prix des facteurs s'égalisaient sinon, au contraire, qu'en réalité l'égalisation des prix des facteurs n'était pas possible (GOLDIN, 1988).

Ainsi, la supposition simple selon laquelle les Etats-Unis, dotés d'un capital abondant, devraient exporter des biens à forte intensité de capital, a été démentie dans les faits par le "paradoxe de LEONTIEF" (LEONTIEF, 1954 ; BALDWIN, 1971).

Dans leur tentative de s'échapper du paradoxe de LEONTIEF les économistes furent forcés d'abandonner les modèles à deux facteurs et de tenir compte des différents types de travail et de capital, en considérant aussi les déterminants dynamiques – institutionnels et politiques – des échanges internationaux. Les modèles à trois facteurs, avec le capital humain comme troisième facteur, à côté du capital physique et de la main-d'oeuvre non qualifiée font partie de la série de vérifications empiriques déclenchée par W. LEONTIEF (BALDWIN, 1971).

Les résultats négatifs des études empiriques basées sur la théorie des proportions des facteurs ont entraîné la recherche d'explications alternatives de la configuration des échanges internationaux. Les études de la statique comparative de la croissance et du commerce furent suivies par des modèles de type dynamique comme celui de ONIKI-UZAWA, où les rapports capital-travail des différents pays sont des variables endogènes qui dépendent de la technologie, de fonctions d'épargne et de la croissance de la population. Ce type de modèle permet de faire la comparaison entre les avantages comparatifs à court terme, qui reposent sur le rapport capital-travail, et les avantages comparatifs à long terme, qui se fondent sur la propension à épargner et la croissance de la population (ONIKI et UZAWA, 1965).

Par ailleurs, VINER a critiqué le modèle de HECKSCHER-OHLIN à cause de ses suppositions sur la qualité identique des facteurs. Il mit l'accent sur l'importance d'interpréter l'avantage comparatif dans un contexte dynamique où l'efficacité de production peut changer au cours du temps, où les externalités peuvent exister et les facteurs peuvent être différents en ce qui concerne leurs coûts d'opportunité (GOLDIN, 1988). Pourtant, NURKSE (1959) signale que ces considérations nous éloignent de la théorie originale puisqu'elles impliquent la nécessité de compter sur une analyse complète du processus de croissance avant de déterminer, même du point de vue théorique, sur quoi est fondé l'avantage comparatif.

Récemment on trouve de nombreuses études qui mettent l'accent sur les explications technologiques du commerce. Dans ces analyses les facteurs de production et, notamment les coûts des facteurs, semblent être relégués au

deuxième plan surtout dans le cas de l'agriculture et des problèmes liés au développement (GOLDIN, 1988).

B. Les avantages comparatifs en agriculture

Les économistes qui ont appliqué la théorie de l'avantage comparatif à l'agriculture peuvent être classés en deux groupes. D'abord on trouve ceux qui défendent soit le principe classique soit le principe néo-classique de l'avantage comparatif, c'est-à-dire soit la voie de RICARDO soit celle de HECKSCHER-OHLIN. De l'autre côté il y a ceux qui, comme SCHUMPETER (1934) et WILLIAMS (1939), arguent que cette approche de l'avantage comparatif est essentiellement statique du fait qu'elle ne tient pas compte d'une grande diversité d'éléments de type dynamique. Ils considèrent que la version moderne de la doctrine de coûts comparés est une simplification de la théorie statique de l'équilibre général. En bref, l'approche dynamique des avantages comparatifs souligne beaucoup plus les ajustements qui peuvent avoir lieu dans l'économie, qu'un équilibre à long terme. Ainsi, les rigidités au sein d'une économie qui influencent la rapidité de l'ajustement des facteurs jouent, dans cette tendance, un rôle très important dans la définition de l'avantage comparatif d'un pays (HALEY et ABBOTT, 1986).

Les difficultés d'application de la théorie de l'avantage comparatif à l'agriculture sont essentiellement au nombre de trois. Tout d'abord, la technologie agricole n'est pas uniforme ni à l'intérieur d'un pays ni entre les différents pays. Ensuite, il faut inclure dans l'analyse la dotation de ressources naturelles. Et, enfin, les modèles de demande des produits agricoles sont non-homothétiques (HALEY et ABBOTT, 1986).

Selon HALEY et ABBOTT (1986) le choix du modèle le plus convenable afin d'examiner le commerce agricole n'est pas incontestable. D'un côté, une théorie basée sur les ressources, qui permet de mettre l'accent sur les différents types de sol, du travail rural et de dotation de capital, semble importante afin de distinguer les possibilités de développement agricole parmi les différentes nations. De l'autre côté, les technologies sur lesquelles la production agricole est fondée sont très différentes parmi les différentes nations et cela doit être pris en compte. Par conséquent, une théorie qui puisse expliquer les avantages comparatifs dans le domaine agricole doit faire une synthèse des deux approches.

C. Les avantages comparatifs en agriculture : deux modèles

Parmi les modèles appliqués à l'agriculture et qui réunissent tant l'influence de la dotation de facteurs que les explications technologiques du commerce on trouve celui de Y. MUNDLAK et R. HELLINGHAUSEN (1982). Il s'agit d'un modèle économétrique qui utilise l'information de section transversale de plusieurs pays. L'objectif de ce modèle est d'estimer la productivité des facteurs dans l'agriculture.

La fonction de production agricole est celle qui suit :

$$F(x,y,w) = 0$$

où, y = production
 x = inputs
 w = variables d'état

Une distinction précise est faite entre les variables puisque les auteurs considèrent, d'un côté, les *inputs* et, de l'autre, les variables, dites d'état, qui symbolisent l'environnement physique (par exemple, le climat et les différents types de sol) et économique (par exemple, la disponibilité de capital) dans lequel les entreprises d'un pays opèrent. Les *inputs* inclus dans le modèle sont la terre, le cheptel, les fertilisants, les tracteurs, la terre irriguée et la main-d'oeuvre.

Dans un tel contexte, la technologie est considérée comme une collection de techniques où chaque technique est représentée par une fonction de production particulière. Un changement dans la collection de techniques représente le changement technologique. Par la suite il est possible de distinguer entre l'ensemble de techniques disponibles et l'ensemble de techniques utilisées. Or, les firmes choisiront leurs techniques sujettes aux contraintes d'information et d'expectatives. Ces dernières dépendent des variables d'état.

Le modèle de MUNDLAK et HELLINGHAUSEN est basé sur l'hypothèse que tous les pays ont accès à la même technologie. Pour que cette supposition soit opérationnelle il faut, en premier lieu, qu'il n'y ait pas de problèmes d'accès physique aux différentes techniques et, deuxièmement, que le fait d'utiliser des techniques plus avancées dans certaines industries et des techniques moins avancées dans d'autres puisse bien être expliqué par les variables d'état, notamment par les différences dans la disponibilité du capital. Une telle hypothèse est moins restrictive que celle de considérer que tous les pays travaillent sur la même fonction de production. Et pourtant, on peut se demander si le processus d'adoption des différents modèles techniques partout dans le monde suit toujours un schéma si simple, autrement dit, un schéma qui puisse être interprété seulement à l'aide de ce type de variables.

Pour ce qui est des ressources naturelles, MUNDLAK et HELLINGHAUSEN considèrent que, bien que la production agricole dépende de l'environnement physique, cette dépendance n'a pas été renforcée dans les études empiriques sur des comparaisons internationales. Une possibilité consiste à travailler avec des séries chronologiques où les changements d'environnement sont de type transitoire et se reflètent dans les erreurs d'estimation. De plus, dans le cadre des comparaisons internationales il faut tenir compte des effets qui correspondent aux différences entre les pays. Une solution est l'introduction d'un "effet-pays" dans les analyses de régression. De toute façon cette proposition, qui peut améliorer l'ajustement de la régression et la qualité statistique des coefficients estimés, ne prétend pas résoudre le problème d'une manière exhaustive. D'abord, l'effet-pays ne représente pas seulement l'environnement physique mais aussi le niveau technique du pays. Ensuite, il n'y a pas de vraies raisons pour supposer que l'environnement physique aura de l'effet seulement sur le niveau de la fonction sans modifier, en même temps, les coefficients de régression de la fonction estimée.

Le problème qui se pose quand on veut introduire les conditions naturelles est que les variables à ajouter doivent être disponibles dans tous les pays à comparer. D'ailleurs, le choix des variables qui rendent compte des potentialités et contraintes de la dotation de terre n'est pas tout à fait évident. Certains états utilisent la terre agricole comme une mesure de ce facteur. Mais ce type de variable ne tient compte que des caractéristiques quantitatives en ignorant les différences dans la qualité du sol (HALEY et ABBOTT, 1986 b).

BURING, VAN HEEMST et STARING (1975) ont élaboré des variables qui permettent le calcul des maxima de production agricole dans le monde. Parmi ces variables MUNDLAK et HELLINGHAUSEN employèrent la

"Production potentielle de matière sèche" (*Potential dry matter production*) et le "Facteur de déficit d'eau" (*Factor of water deficit*). La première représente l'*output* en kg/ha-an de biomasse, aussi bien aérienne que souterraine, qui peut être atteint si la précipitation et les conditions originales du sol sont optimales. Tandis que la deuxième variable considère le rapport entre la transpiration potentielle et la transpiration réelle. Ces deux variables sont supposées avoir un rapport positif avec la production⁹.

Un cadre conceptuel différent qui tient compte aussi bien de la diversité des modèles techniques dans le monde, que de la potentialité des ressources naturels fut proposé par F. JACQUET et G. FLICHMAN (1988). Dans ce cas, le but de l'analyse est celui d'étudier les rapports existants entre l'optimum au niveau de l'entreprise agricole, le coût minimal de production, et le niveau d'intensité dans l'utilisation de la terre.

Ce modèle, dessiné pour faire des études de comparaisons internationales d'efficacité de la production agricole, est **monoproduit**. Ainsi, en se situant dans le cadre d'une culture donnée, l'analyse se base sur une fonction de production sous-jacente dont la production à l'hectare dépend du niveau d'intensité utilisé. Autrement dit,

$$y = f(k)$$

où, l'intensification (k) est mesurée par le rapport entre, d'un côté, l'ensemble de capital et de travail, exprimés en unités monétaires, et, de l'autre côté, la terre, mesurée en unités physiques, à savoir :

$$k = \frac{K + L}{T}$$

avec, K = quantité totale de capital investi.

L = quantité totale de main-d'oeuvre employée.

T = quantité de terre,

Les auteurs proposent la construction de ces fonctions de production moyennant l'emploi de **modèles agronomiques de simulation de croissance des plantes**. Avec ce type de méthodologie il est donc possible d'élaborer de vraies **fonctions d'ingénieur**, en partant des caractéristiques physiques et techniques des différentes régions à comparer.

Dans un tel modèle, qui rend compte d'un **équilibre de type partiel**, le prix du produit, des *inputs* et des biens de capital, ainsi que le niveau des salaires et le coût d'opportunité du capital, sont considérés comme des données. Par contre, le prix de la terre est endogène, cela veut dire qu'il est un résultat du processus d'intensification¹⁰.

Enfin il faudra ajouter que le modèle est **statique** : il ne sert pas à analyser des processus de type historique.

Par ailleurs, les auteurs utilisent le terme "efficacité" en référence à la notion de **coût de production**. Ainsi, "l'efficacité maximale est atteinte,

9. HALEY et ABBOTT (1986 b) développèrent un modèle théorique en suivant les lignes suggérées par MUNDLAK et HELLINGHAUSEN (1982) avec l'utilisation d'une fonction de production du type "translog".

10. "Le choix technique optimal est celui qui maximise la rente, en définissant le niveau d'intensité dans l'utilisation de la terre. Le prix de la terre apparaît ainsi comme un résultat et non comme une cause des choix techniques" (JACQUET et FLICHMAN, 1988).

lorsque le coût de production par unité de produit est minimal". Or, le coût unitaire de production ($cu(k)$) est une fonction de k qui se définit par

$$cu(k) = c(k)/f(k)$$

où, $c(k)$ est le coût de production à l'hectare, également fonction de k . Dans le coût de production sont incluses les dépenses de production, y compris la rémunération du travail de l'exploitant, et l'amortissement du matériel. En sont exclus les intérêts sur le capital, le loyer de la terre, et la rémunération de la fonction d'entrepreneur.

Du fait de cette définition du coût de production, on supposera que l'exploitant agricole fera le choix de l'activité qui maximise la rente, laquelle est exprimée comme :

$$R(k) = Pf(k) - c(k) - gk$$

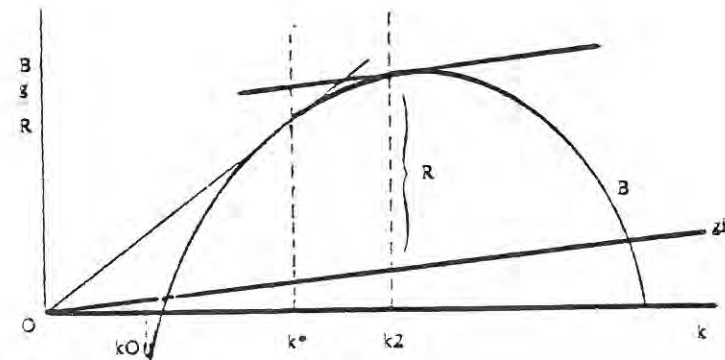
où,

- R = rente foncière.
- P = Prix du produit.
- $f(k)$ = Production à l'hectare.
- $c(k)$ = Coût de production à l'hectare.
- g = Coût d'opportunité du capital.
- k = niveau d'intensité d'utilisation de capital.

Ce concept de rente provient de la tradition ricardienne et marxiste.

Le graphique suivant illustre les idées que l'on vient de présenter.

GRAPHIQUE 2 – La rente foncière.



Source : JACQUET et FLICHMAN (1988 – p. 51).

où,

- i. B représente le profit tiré de la production agricole tel que $B(k) = Pf(k) - c(k)$.

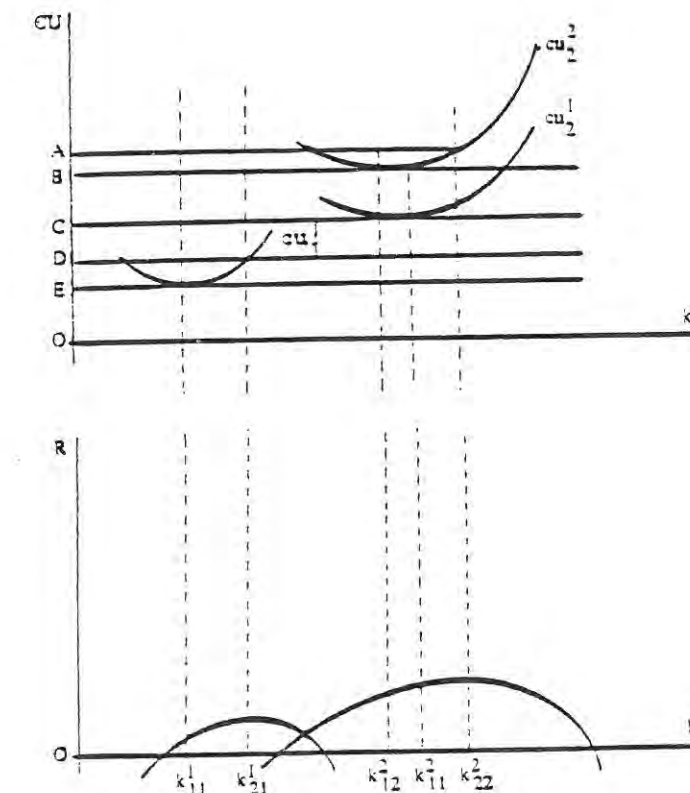
ii. k^* représente le niveau auquel s'établit l'intensification, dans le cas où les ressources en terre sont illimitées.

iii. k_2 représente le niveau auquel s'établit l'intensification quand la disponibilité en terre est limitée. La rente foncière, qui mesure la différence $B(k) - g(k)$, est ainsi maximisée. Cela veut dire que le point k_2 représente le niveau optimal d'intensification du point de vue de la maximisation de la rente.

On constate que le niveau d'intensité optimal pour ce qui est de la maximisation de la rente foncière ne coïncide pas forcément avec celui d'efficacité maximale, défini par le coût minimal de production. Puisque la plus ou moins grande concordance entre l'efficacité maximale et la rente maximale dépend du niveau auquel est "fixé" le prix du produit agricole considéré, étant donné le coût d'opportunité du capital¹¹.

A partir de cette argumentation les auteurs proposent la construction de différents indicateurs. Ceci peut être présenté à l'aide des graphiques suivants.

GRAPHIQUE 3 – Les indicateurs d'efficacité.



Source : JACQUET et FLICHMAN (1988 – p. 53).

11. "Ainsi, c'est le prix agricole, en tant que prix "administré", fixé par la politique agricole, qui détermine le niveau d'intensification optimal du point de vue de l'exploitant, c'est-à-dire, qui maximise la rente" (JACQUET et FLICHMAN, 1988).

où,

k_{11}^1 = niveau d'intensité qui minimise le coût unitaire de production du pays 1, aux prix des facteurs du pays 1.

k_{21}^1 = niveau d'intensité qui maximise la rente du pays 1, aux prix des facteurs du pays 1.

k_{12}^2 = niveau d'intensité qui minimise le coût unitaire de production du pays 2, aux prix des facteurs du pays 2.

k_{22}^2 = niveau d'intensité qui maximise la rente du pays 2, aux prix des facteurs du pays 2.

k_{11}^1 = niveau d'intensité qui minimise le coût unitaire de production du pays 1, aux prix des facteurs du pays 1.

Tandis qu'en abscisse, se trouve $k = K/T$ (avec K , capital total investi en unités monétaires et T , terre, en unités physiques) qui mesure le niveau d'intensification, en ordonnées, dans la partie supérieure du **GRAPHIQUE 3** est représenté le coût unitaire ($cu(k)$) et dans la partie inférieure, la rente (R).

cu_1^1 = représente le coût unitaire de production du pays 1.

cu_2^2 = représente le coût unitaire de production du pays 2.

cu_1^2 = représente le coût unitaire de production du pays 2, aux prix du pays 1.

On constate que ces graphiques permettent de faire la comparaison entre les coûts de production unitaires réels et théoriques (c'est-à-dire, les coûts qui correspondent soit à la minimisation du coût soit à la maximisation de la rente) des deux pays en aboutissant à la construction des indicateurs d'efficacité suivants :

1. L'indicateur d'efficacité nationale, à prix courants.

Il mesure le rapport entre le coût unitaire optimal, du point de vue de la maximisation de la rente et le coût minimal qu'il serait possible d'obtenir en utilisant la combinaison de facteurs qui minimise le coût unitaire. Sur le **GRAPHIQUE 3** il est égal à OE/OD pour le pays 1 et, à OB/OA pour le pays 2.

2. La comparaison des coûts réels, correspondant à la maximisation de la rente, soit OD/OA .

3. La comparaison des coûts unitaires minima, aux prix courants, soit OB/OE . Cet indicateur permet d'apprécier l'efficacité comparative entre pays, s'ils se situaient au minimum de leur coût unitaire de production.

4. La comparaison des coûts unitaires minima, aux prix variables. Si on prend les prix des *inputs* et des biens d'équipement d'un pays comme étalon on peut calculer le coût minimum réalisable avec ces prix dans chaque pays. Ce dernier indicateur ressemble à l'indice de protection effective, avec l'avantage de tenir compte de la substitution de facteurs provoquée par le changement de prix relatifs.

En résumé, si on prend comme référence pour chaque produit, le coût optimal le plus bas, il sera possible de comparer à ce coût, les trois coûts qui

suivent : les coûts réels, les coûts optima à prix courants et les coûts optima à prix variables. Cette procédure permet de différencier dans la comparaison des coûts réels ce qui est dû en premier lieu, aux différences de **prix agricoles intérieurs**, ensuite aux différences de la **structure de prix des intrants et biens d'équipement** et, enfin aux **conditions technico-naturelles** existantes au moment de la comparaison.

5. Les fonctions de production et la mesure de l'efficacité

Les théories du commerce international que l'on vient de présenter font différentes propositions sur la technologie dans les divers pays, laquelle est exprimée par la voie des fonctions de production soit identiques – chez HECKSCHER-OHLIN – soit différentes – chez RICARDO.

D'ailleurs, MUNDLAK et HELLINGHAUSEN supposent que tous les pays ont accès à la même technologie et que les différences trouvées dans son adoption peuvent être expliquées par des variables, dites d'état, qui représentent l'environnement économique et physique. Ainsi, tous les pays ne travailleraient pas sur la même fonction de production qui dans ce modèle est calculée au moyen d'une méthode économétrique conventionnelle. Ces fonctions de production sont l'enveloppe de plusieurs fonctions de production qui représentent chacune d'entre elles une technique particulière.

Enfin, la fonction de production du modèle JACQUET-FLICHMAN est l'image de plusieurs fonctions de production physiques qui correspondent à des substitutions de facteurs multiples. Autrement dit, la fonction de production de ce modèle est l'enveloppe de plusieurs fonctions de production physiques dont les caractéristiques spécifiques ne furent pas précisées par les auteurs : il s'agit donc d'une fonction de production "idéale" ou théorique¹².

Les fonctions de productions sont ainsi un instrument pour l'étude de l'efficacité technique et un procédé convenable afin de la mesurer. Toutefois, on peut se demander comment calculer ces fonctions de production qui décrivent les modèles techniques des divers pays et, plus importante encore, de quel type de fonction de production s'agit-il.

En ce qui concerne la deuxième question on trouve que selon la définition d'efficacité proposée par FARRELL la "fonction de production efficace" devrait être estimée moyennant l'**approche de fonction de production d'ingénieur proposé par H. B. CHENERY** en 1949. Car l'efficacité technique est une donnée dite d'ingénierie. Mais, des difficultés trouvées dans la construction de ce type de fonction l'ont détourné de l'objectif initial.

D'ailleurs, dans toute analyse du secteur agricole il faudra incorporer les conditions naturelles des régions à comparer, car l'environnement physique peut affecter tant le niveau de la fonction de production que les coefficients de la fonction estimée. De plus, les variables à incorporer doivent être disponibles dans tous les pays compris dans la comparaison.

12. FLICHMAN et VICIEN (1988) et FLICHMAN (1989) ont utilisé un modèle de simulation de la croissance des plantes pour générer les données nécessaires au calcul des coûts de production dans le cadre d'une comparaison d'efficacité de la production de grains en Argentine, en France et aux Etats-Unis. Mais dans les deux études les auteurs ont supposé l'existence d'une fonction de production sous-jacente sans procéder à son estimation. C'est-à-dire, les comparaisons sont basées sur différents points d'une fonction dite théorique.

Pour ce qui est des difficultés trouvées dans la construction de fonctions de production purement techniques le recours à des modèles de simulation comme outil pour l'élaboration d'un tel type de fonction de production permettrait de mieux représenter les différents modèles techniques que l'on peut trouver dans les divers pays ou régions à comparer. Cela suppose un procédé qui, en partant des cas concrets au niveau de l'exploitation agricole – tant en ce qui concerne la technologie employée que les ressources naturelles qui la caractérisent – atteigne le niveau d'agrégation désiré dans l'analyse, c'est-à-dire, la région, le pays, etc.

Quand on passe à la mesure de l'efficacité économique un aspect fondamental, pour que celle-ci ait une cohérence avec la réalité agricole, ce sont les contraintes auxquelles doivent faire face les agriculteurs au sein des exploitations qui peuvent limiter ainsi le champ réalisable en situant à l'agriculteur dans une position inefficace.

Mais avant de procéder à la considération des problèmes concrets liés à la construction de ces fonctions de production nous ferons un "détour historique". Car, en analysant les changements profonds que la notion de fonction de production a subis au cours des années dans la Science Economique nous arriverons à mieux comprendre les problèmes d'ordre pratique.

III. LA FONCTION DE PRODUCTION : BREF HISTORIQUE

Dans cette partie nous essaierons de suivre l'évolution des idées fondamentales qui se développèrent sur la notion de fonction de production au sein de la Science Economique. Cela nous aidera à mieux situer quelques questions centrales, notamment l'utilisation faite par les économistes de cette notion qui appartient au domaine des sciences physiques et biologiques ainsi que les problèmes dérivés de l'agrégation de biens non homogènes dans la construction des fonctions de production¹.

1. RICARDO "première version" ou Le principe de la marge extensive

D'abord on se demandera quelle est l'origine de l'idée de fonction de production. Comme on l'a évoqué plus haut il s'agit d'un concept qui provient des sciences physiques et biologiques car les fonctions de production sont la base de la description des lois de la nature. Cependant, la notion de fonction de production fut développée et utilisée notamment par les économistes (HEADY et DILLON, 1961). Or, nous pouvons affirmer que la notion de fonction de production est née, du point de vue historique, au sein de l'économie classique, notamment chez RICARDO : la loi de rendements décroissants de la branche agricole, centrale dans le raisonnement classique, peut être exprimée en termes d'une fonction de production.

RICARDO envisageait une agriculture où l'utilisation de biens de capital était peu importante. Nous pouvons donc admettre que la quantité de capital accumulé à ce niveau de développement des forces productives était relativement faible par rapport à la quantité de terres disponibles. Par conséquent, la fonction de production classique permet d'établir la liaison entre, d'un côté, des quantités de produit, et de l'autre côté, des quantités de travail et de terre.

Bien qu'aucune des trois composantes citées ne soit un ensemble de biens physiquement homogènes, pour ce qui est de la production, le fait de restreindre l'analyse à des marchandises agricoles spécifiques permet d'assurer son homogénéité. En tout cas, si un certain degré d'agrégation est nécessaire, il suffira d'employer un indice de volume physique.

En ce qui concerne le travail, l'exigence d'homogénéité est satisfaite en supposant l'homogénéité physique des différentes sortes de travaux concrets.

Dans le cas de la terre, son hétérogénéité donne lieu à la loi de rendements décroissants. En effet, dans la mesure où la quantité de travail employée dans la production agricole augmente, il faudra utiliser des terres de qualité inférieure, entraînant une croissance moins que proportionnelle du produit total obtenu.

Il est important de souligner que cette approche suppose un ensemble donné de techniques de production. Cela veut dire, d'abord, qu'elle ne considérerait pas l'innovation technique, et ensuite, que la possibilité de

1. Les concepts principaux furent pris des travaux de A. MONZA (1971, 1972, 1985), ainsi que du livre de C. E. FERGUSON (1969).

substitution entre la terre et le travail n'était pas envisagée. Le premier point est seulement une anticipation partielle de la façon dont l'idée de progrès technique sera développée plus tard par la plupart des économistes. Par contre, la deuxième hypothèse semble assez étonnante puisqu'elle implique que la notion de fonction de production fut au début complètement étrangère à celle de la substitution entre facteurs. Les économistes classiques élaborèrent donc **une théorie des rendements décroissants spécifique pour la technologie agricole** (MONZA, 1972).

Cette analyse dont la caractéristique principale est de tenir compte de la spécificité des conditions de production de l'agriculture, par rapport à celles des autres secteurs de l'économie, a été nommée, le **principe de la marge extensive** (MONZA, 1972).

Ainsi, le raisonnement classique peut être représenté au moyen d'une fonction de production qui lie les quantités de produit et de travail. La dérivée de cette fonction est positive et décroissante, en raison du caractère hétérogène de la terre qui (MONZA *dixit*) "joue son rôle derrière la scène" (c'est-à-dire, la terre est un facteur de quantité fixe et qualité variable). On peut donc conclure que les trois propriétés qui sont à la base de cette fonction sont les suivantes (MONZA, 1972) :

i. Toutes les variables peuvent être mesurées en **unités physiques**, sans l'aide d'aucun système de prix relatifs.

ii. La dérivée de la fonction est **décroissante** puisque, compte tenu que l'ensemble de la terre est de qualité variable, la production peut seulement augmenter moyennant l'utilisation de terre de qualité inférieure (hypothèse de validité plutôt théorique qu'empirique).

iii. La fonction permet de décrire un processus historique qui repose sur la croissance de la force de travail, dans le cadre d'une économie où la dotation de terre n'est pas complètement mise en culture. La notion a donc **une dimension temporelle**.

2. RICARDO "deuxième version" ou Le principe de la marge intensive

Une deuxième version de la théorie ricardienne de la rente, qui fut reprise plus tard par l'école marginaliste, modifia en quelque sorte l'idée originale de la fonction de production classique.

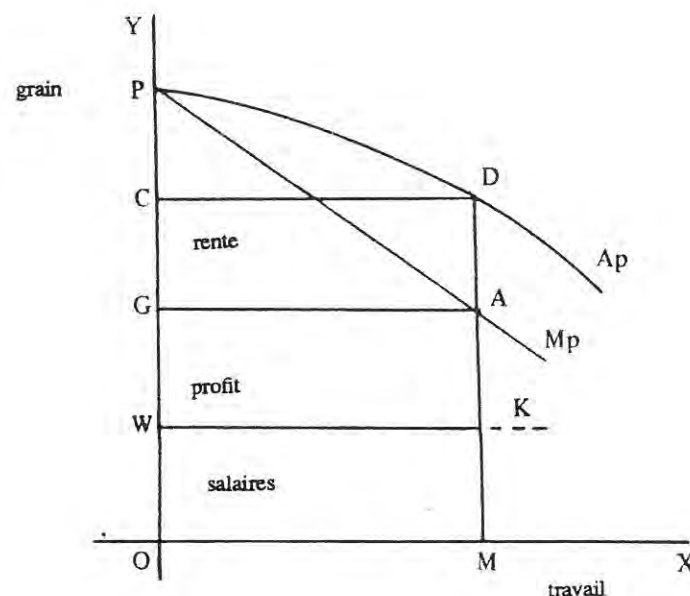
RICARDO avait envisagé deux types d'investissements, soit sur de terres de qualité différente, soit successivement sur la même terre (BENETTI, 1975). Ainsi, la nouvelle présentation chez RICARDO, considère l'existence d'une quantité fixe de terre de qualité hétérogène sur laquelle s'appliquent les différents niveaux de travail, dans le cadre d'une économie où la frontière agricole est déjà définie.

Ce scénario recréa la fonction de production classique qui demeure comme un rapport entre quantités de produit et de travail. Le fait que la capacité de production d'une certaine quantité de terre soit limitée, dans le cadre d'un niveau de connaissance donné, aboutit encore à la condition décroissante de la pente de la fonction. L'analyse décrite a été appelée, le **principe de la marge intensive** (MONZA, 1972).

Cette dernière version de la fonction de production classique appartient au même ordre d'idée que la notion originale, dans la mesure où elle est fondée sur les trois caractéristiques déjà citées. En premier lieu, le rapport s'établit entre les mêmes variables (c'est-à-dire, entre la production et le travail, alors que la quantité de terre est fixe) et sa mesure n'exige pas l'existence d'un système de prix relatifs. Deuxièmement, le caractère décroissant de sa dérivée se base sur une particularité du monde physique. Enfin, la notion a une dimension temporelle puisqu'elle est dessinée pour expliquer une réalité historique (MONZA, 1972).

Le fonctionnement du secteur agricole dans ce modèle peut être représenté par un simple diagramme (**GRAPHIQUE 4**) où OY mesure les quantités de "grain" (qui représente tout le produit physique agricole) et OX , la quantité de travail employé dans l'agriculture. Pour un certain niveau de connaissance et, avec des ressources naturelles considérées comme données, la courbe $P-Ap$ représente le produit par unité de travail, alors que la courbe $P-Mp$ est le produit marginal du travail. L'existence de deux courbes différentes pour le produit moyen et le produit marginal est une conséquence de la tendance décroissante de la courbe de produit moyen, c'est-à-dire, de la supposition de rendements agricoles décroissants. Ainsi, la production de grain est déterminée seulement par la force de travail (OM), qui est aussi une donnée. Dans le **GRAPHIQUE 4** la production totale est représentée par le rectangle $OCDM$. Le fait de supposer la quantité de travail comme une donnée exclut la possibilité de variations de la production par tête dues à un changement dans le capital fixe par unité de travail, pour chaque niveau technologique. Pour autant, le modèle suppose, d'un côté, des relations constantes entre le capital et le travail et, d'un autre côté, des coefficients variables entre le travail et la terre (KALDOR, 1955-56).

GRAPHIQUE 4 – Le fonctionnement du secteur agricole dans le modèle ricardien.



Source : KALDOR (1955-56, p. 80).

3. La généralisation des idées : WALRAS et FISHER

Bien qu'au début l'utilisation de la fonction de production eût été restreinte à la branche agricole, quelque temps après, la notion se propagea à de nouveaux champs d'application. Afin d'étudier cette diffusion il est nécessaire de considérer d'autres courants de la pensée économique développés au fur et à mesure que l'école néo-classique s'établissait. Nous examinerons les propositions de WALRAS et de FISHER.

WALRAS introduit la notion d'équilibre général comme une méthode "dessinée" pour traiter, d'une façon compréhensible, la détermination des prix relatifs dans le cadre d'un contexte économique statique. L'offre de chaque bien, ainsi que la demande de chaque ressource productive, dérivent de fonctions de production sous-jacentes².

La fonction de production du modèle walrasien établit un rapport de nature, plutôt microéconomique, entre quantités de produits et d'intrants. Toutes les variables peuvent être mesurées en unités physiques, comme dans la fonction de production classique. Par contre, le reste des analogies a déjà disparu. Premièrement, l'hypothèse de rendements décroissants de la fonction de production, par rapport à chaque intrant, (c'est-à-dire, la proposition que la frontière de possibilités techniques soit un ensemble convexe de l'espace n-dimensionnel) n'est qu'une généralisation de la loi classique de rendements

2. Dans les première et deuxième éditions des *Eléments d'économie politique pure*, WALRAS emploie des coefficients de production fixes, tandis que, tant dans la troisième édition que dans la présentation habituelle de son modèle, la substitution continue entre facteurs de production est introduite (MONZA, 1972).

décroissants de l'agriculture. Parce que, au moins pour ce qui est du secteur industriel, l'hypothèse n'est pas basée sur une évidence empirique. En effet, cette généralisation est seulement le résultat d'une exigence théorique afin de boucler le modèle. Deuxièmement, le modèle est de nature purement statique, et par conséquent, les interprétations historiques sont peu vraisemblables (MONZA, 1972).

Ainsi, la notion originale de RICARDO a été transformée dans le cadre du modèle proposé par WALRAS. Car, cette fois-ci on trouve la fonction de production du schéma d'assignation de ressources laquelle permet de décrire l'ensemble de techniques qui peuvent être utilisées afin de produire un bien donné. Dans un tel contexte la différence entre les techniques se pose, en général, dans la combinaison d'intrants, tous mesurés en unités physiques.

Le deuxième courant de la pensée néo-classique sur la fonction de production a été développé chez FISHER. Cet économiste, qui travailla dans le champ de la Théorie du Capital (au lieu de celui de la Théorie de la Valeur), introduit la notion de taux de retour au capital, qui jouera un rôle central dans le raisonnement néo-classique. L'entrepreneur individuel choisira combien et où investir en se basant sur le taux de retour au capital. Le capital est alors devenu un concept purement monétaire.

L'analyse de FISHER se base sur l'existence d'une fonction de production microéconomique qui diffère de celle présentée par WALRAS. Chez FISHER le rapport s'établit entre, d'un côté, la quantité ou la valeur de la production et, de l'autre côté la quantité du travail et la valeur du capital. Dans cette fonction on ne retrouve plus les propriétés qui caractérisent la fonction de production classique. En effet (MONZA, 1972) :

i. Toutes les variables ne peuvent pas être mesurées en unités physiques. En particulier, la variable capital est mesurée en unités de valeur puisqu'elle représente la valeur d'un ensemble de biens de capital physiquement hétérogènes qui sont liés à des techniques de production différentes³.

ii. L'hypothèse d'une pente décroissante de la fonction de production manque, comme dans le modèle de WALRAS, de toute justification empirique. Rien ne permet d'affirmer que si l'on considère un travailleur équipé avec des biens de capital divers (qui correspondent aux différentes techniques de production), l'augmentation successive de la valeur du capital entraînera une augmentation moins que proportionnelle de la productivité.

iii. Le modèle présenté par FISHER essaie de représenter l'assignation d'un montant donné d'investissement financière d'une façon instantanée, c'est-à-dire atemporelle. Plus tard, le même modèle sera employé pour analyser le processus historique d'accumulation de capital.

4. La parabole néo-classique

A. La fonction de production agrégée

L'étape suivante du développement d'idées sur la notion de fonction de production se trouve dans le domaine de la macroéconomie néo-classique lors

3. Comme l'indique MONZA (1972) dans la mesure où l'analyse se limite à l'équilibre partiel compétitif, la perte de la première propriété du schéma classique n'entraîne pas un erreur dans la logique interne du modèle, puisque les prix relatifs aussi bien que les conditions techniques de production sont, par définition, une donnée.

du développement de l'équivalent agrégé des modèles de WALRAS et de FISHER.

En recherchant la simplicité, en dépit de la rigueur théorique, la macroéconomie néo-classique fut construite par analogie à la théorie microéconomique. C'est pourquoi la théorie néo-classique afin de "sauter" du niveau micro au niveau macro de la Science Economique implique forcément l'utilisation d'une méthode d'agrégation (FERGUSON, 1969).

L'analyse néo-classique se base donc sur la supposition que le système économique agrégé possède, lui aussi, une fonction de production agrégée qui utilise deux classes d'inputs : le capital et le travail. Ce système, ainsi construit, rémunère chaque *input* (chaque "facteur de production", dans la dénomination néo-classique) par sa productivité marginale (ou rémunération concurrentielle).

Pour que la dernière supposition soit valable du point de vue méthodologique, on doit satisfaire les propositions suivantes :

i. En ce qui concerne la sphère de la production :

La fonction de production agrégée est homogène et de degré 1, par rapport à deux inputs aussi homogènes, le capital et le travail. Ainsi, avec une présentation analogue à celle de la théorie microéconomique, la fonction de production mentionnée sera la suivante :

$$Y = g(K, L)$$

où, Y , K , et L sont respectivement, la production, le capital et le travail.

Il faut encore ajouter que le comportement de l'économie doit ressembler à celui d'une firme concurrentielle qui maximise son profit d'une façon paramétrique, par rapport à des inputs et des prix considérés comme données. Finalement, dans la région fondamentale de production les produits marginaux seront positifs ($f'_K > 0$, $f'_L > 0$, c'est-à-dire, avec des dérivées positives), et ils augmenteront d'une façon monotonique ($f''_K < 0$, $f''_L < 0$, c'est-à-dire, avec les dérivées partielles négatives).

ii. Pour ce qui est de la sphère du marché :

Tant les marchés d'inputs que ceux de produits sont parfaitement concurrentiel et se trouvent en équilibre instantané.

Par conséquent, la fonction de production macroéconomique peut être interprétée comme une description des possibilités techniques de production, exprimées en tant que relations entre la quantité physique de produit et la quantité de facteurs utilisés dans la production. L'élaboration de cette description obéit à des critères très précis. D'abord, on prend comme point de départ le stock des techniques disponibles dans un moment donné pour la production qui, sur la base d'une hypothèse simplificatrice, représente le produit national net ou une production agrégée quelconque. Ce stock représente l'état de la connaissance technologique au moment considéré. Ensuite, on en déduit la fonction de production par l'application du principe de la "rationalité économique" (ou d'efficacité) d'après lequel, sur la base des données existantes, le choix des entrepreneurs obéit au critère de maximisation du taux de profit. A partir de ce

critère de maximisation s'opère, dans chaque situation considérée, une sélection des techniques, dont le résultat est la fonction de production macroéconomique (BENETTI, 1975).

En somme, l'essence de la notion présentée consiste en l'existence d'un **rapport agrégé et purement technique**, entre le capital, le travail et le produit. Cette relation permet de caractériser les conditions techniques de production au niveau macroéconomique (MONZA, 1985).

Depuis les années 1950 la fonction de production macroéconomique a connu un regain de popularité considérable, lié en particulier au développement de la théorie néo-classique de la croissance.

B. Le capital néo-classique

Toutefois, afin d'arriver au noyau du schéma néo-classique il est nécessaire d'approfondir une autre idée. Dans le cadre de l'école néo-classique, la Théorie de la Répartition dérive de la Théorie de la Production alors que la Théorie de la Croissance trouve son origine dans la Théorie du Capital. Cependant, toute l'analyse néo-classique se fonde sur une substance essentielle : le **capital** (FERGUSON, 1969).

Ainsi cette partie de l'histoire de la macroéconomie néo-classique commence avec J. B. CLARK et sa notion de **capital réel homogène**. Celle-ci peut être présentée de la façon suivante : " Si l'on ignore le progrès technique, il existe une substance réelle appelée capital dont la consommation est remplacée d'une façon continue pour que la substance reste homogène" (FERGUSON, 1969).

A partir d'une notion aussi simple que celle de CLARK plusieurs économistes ont développé la version moderne de la théorie néo-classique, qui a été nommée la **parabole néo-classique de J. B. CLARK**. Cette parabole nous donne le rapport direct entre les sphères de la production et du marché et, de même, elle permet d'établir la base de la théorie microéconomique de la détermination de prix.

C. Les propositions néo-classiques

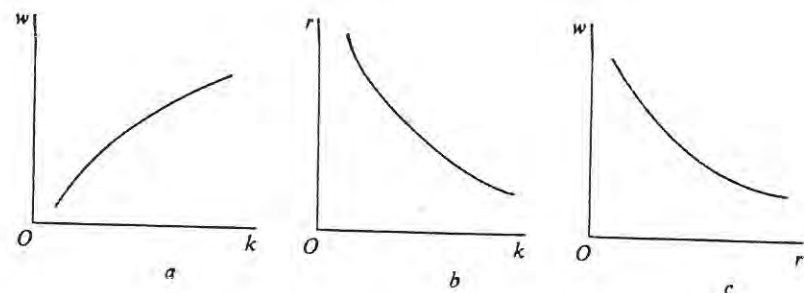
Le modèle que l'on a décrit et qui suppose l'existence de fonctions de production continues et d'un capital unique et homogène aboutit aux conclusions qui suivent :

Sous l'hypothèse de marchés concurrentiels,

- i. Le taux de profit du capital est le taux d'intérêt du capital, soit public soit privé.
- ii. Les salaires varient inversement aux taux d'intérêt.
- iii. Le rapport capital-travail varie de manière direct avec le rapport salaire-taux d'intérêt.
- iv. Le critère de répartition de la production est clairement défini.
- v. Le produit national par travailleur varie de façon inverse au taux d'intérêt.

Le GRAPHIQUE 5 résume les idées présentées.

GRAPHIQUE 5 – Les résultats de la théorie néo-classique



où, w = salaire.
 k = rapport capital-travail.
 r = taux d'intérêt.

Source : FERGUSON (1969, p. 254).

En bref, la caractéristique fondamentale de la fonction de production macroéconomique est qu'elle exprime une relation décroissante entre le taux de profit d'une part et d'autre part K/L , K/Y et Y/L (où K est le capital, L est le travail et Y est la production). En d'autres termes, l'ordre de classement des techniques selon la quantité de capital par unité de travail, ou la quantité de capital par unité de produit, ou la productivité du travail est l'inverse de celui obtenu selon le niveau du taux de profit (BENETTI, 1975).

5. La dernière controverse du capital

Dans les années 1950 se déroula une célèbre controverse dans le cadre de la Théorie du Capital dont les deux opposants pouvaient être trouvés, d'un côté à l'Université de Cambridge et, de l'autre, au *Massachusetts Institute of Technology*. Le débat des "Deux Cambridge" a été précisément centré sur la parabole néo-classique que l'on vient de présenter. En particulier, à propos de la

possibilité de définir, au niveau agrégé, une quantité de capital, ainsi que sur la conclusion qui affirme que, en tenant compte de l'équilibre de long terme (en absence de progrès technique), l'augmentation de l'intensité du capital (dans ce contexte, l'intensité du capital est la valeur du capital par tête) se traduit par une baisse du taux de profit, comme on l'a évoqué précédemment (MONZA, 1971)⁴.

Au début, l'essence de la critique fut la constatation qu'un taux d'intérêt décroissant pouvait être accompagné d'une augmentation dans l'intensité de capital employé dans les différentes méthodes de production. Autrement dit, le taux d'intérêt ne serait plus un moyen valable afin de sélectionner l'intensité du capital, c'est-à-dire, un "indice de la rareté de la quantité de capital" (PASINETTI, 1969). Cette assertion, qui est connue comme le phénomène de *réversion de techniques* ou *reswitching*, nie l'existence d'une relation univoque entre les rapports **capital-travail** et **salaire-travail**, entraînant la perte de la logique interne de la macroéconomie agrégée⁵.

Plus tard la discussion est devenue plus profonde, car on a trouvé qu'il n'était pas vraiment nécessaire de faire face à un cas de réversion de techniques pour détruire la parabole néo-classique. Ainsi, la vraie critique sur la Théorie du Capital se pose de la façon suivante : "Etant donné que les variables de la fonction de production agrégée sont hétérogènes (puisqu'elles rassemblent des biens physiquement hétérogènes), celles-ci doivent être mesurées en unités de valeur. Il faut donc connaître *a priori* les prix relatifs afin d'arriver à définir le rapport agrégé. Au niveau macroéconomique le système de prix ne peut être considéré comme une donnée puisque l'équilibre de long terme, auquel fait référence la notion de fonction de production agrégée, établit que les prix relatifs dépendent aussi bien des conditions techniques de production, que de la répartition de la production. Par conséquent, afin de définir la fonction f il est nécessaire de connaître, *a priori*, les méthodes de production et la répartition du produit net, ce qui rend inconsistante l'utilisation, *a posteriori*, du rapport agrégé" (MONZA, 1971)⁶. La théorie s'enferme alors dans un raisonnement circulaire : pour connaître le taux de profit d'équilibre il faut connaître la productivité marginale du capital, donc la quantité de capital d'équilibre et donc le taux de profit d'équilibre (BENETTI, 1975)⁷.

En conséquence, la première difficulté consiste à trouver une unité dans laquelle le capital puisse être mesuré comme un chiffre ou un numéro. Autrement dit, on cherche un indice qui soit indépendant tant des rapports des prix, que de la répartition de revenus afin de l'incorporer dans une fonction de

4. Les critiques de l'école de Cambridge sur la théorie néo-classique ont été adressées, notamment par J. ROBINSON, N. KALDOR et L. PASINETTI. Tandis que les néo-classiques les plus célèbres dans ce débat furent R. M. SOLOW et P. SAMUELSON.

5. J. ROBINSON se trouve parmi les premiers à repérer cette découverte, mais ensuite d'autres économistes comme SRAFFA, MORISHIMA, HICKS, PASINETTI, GAREGNANI et SAMUELSON ont prouvé l'existence du phénomène de réversion de techniques.

6. "Las variables en la función de producción agregada – esto es, producto por hombre y capital por hombre – deben necesariamente estar medidas en unidades de valor, ya que las mismas se refieren a conjuntos de bienes físicamente heterogéneos. Se requiere por lo tanto un conocimiento no posterior de los precios relativos para estar en condiciones de definir la relación agregada. A nivel macroeconómico el sistema de precios no puede considerarse dado sino que, en el equilibrio de largo plazo al cual se refiere la idea de función de producción agregada, está establecido que los precios relativos dependen de las condiciones técnicas preexistentes y de la distribución del producto. Resulta así que para poder definir la función f es imprescindible conocer previamente los métodos de producción en uso y la distribución del producto neto resultante, lo cual es inconsistente con el uso que se le da a la relación agregada" (MONZA, 1971).

7. "La contradicción se manifiesta en la ausencia de relación univoque entre la valeur du capital et le stock des moyens de production. La théorie de la productivité marginale prétend donc expliquer la rémunération de ce qu'elle désigne comme "facteurs de production" à partir du principe unique de leur productivité marginale dans une situation donnée" (BENETTI, 1975).

production où, avec le travail (aussi correctement mesuré) il puisse expliquer les différents niveaux de production (HARCOURT, 1969).

D'ailleurs, dans une économie parfaitement concurrentielle avec transparence parfaite (réelle ou par une raison de commodité), cette unité doit être telle que la dérivée partielle du produit par rapport au capital soit égale à la rémunération du capital, tandis que la dérivée partielle par rapport au travail doit représenter le salaire des travailleurs. Si on accomplit la tâche de trouver une unité pareille on pourra, comme le note HARCOURT (1969) "faire d'une pierre deux coups", puisqu'on parviendra à faire deux analyses simultanées. En premier lieu, celle d'un système productif dont le capital (c'est-à-dire, les moyens de production produits) constitue une "aide" au travail (caractéristique de toute société développée). Et, deuxièmement, celle de la répartition de revenus dans une économie capitaliste.

L'élément central est donc que les lois de la répartition ont un fondement technico-économique, en ce sens qu'elles sont l'expression à la fois de la technique de production et de l'efficacité économique (BENETTI, 1975).

Cependant, le problème qui reste au cœur de cette controverse réside dans l'application du concept de fonction de production à des objectifs peu appropriés. La notion de **catalogue de techniques disponibles**, qui coexistent dans le temps et parmi lesquelles les entrepreneurs peuvent choisir, est utile et présente un sens opérationnel authentique. La seule contrainte se trouve dans la complexité de son application au monde réel (ROBINSON, 1953-54).

Au contraire, face à la détermination de la répartition de la production, entre le travail et le capital, la fonction de production "échoue" : elle ne distingue pas entre le capital, au sens de moyen de production (avec des caractéristiques techniques particulières), et le capital, comme un "droit à la maîtrise" des ressources monétaires. La fonction de production "échoue" encore quand elle "essaie" de représenter un processus d'accumulation de capital. Cette fois elle ne différencie pas les comparaisons des positions d'équilibre, des déplacements entre différentes positions d'équilibre (ROBINSON, 1953-54).

6. L'après-controverse

L'attitude des économistes néo-classiques vis-à-vis de ces objections fut l'acceptation de sa véracité en affirmant, en même temps, que la validité de la théorie néo-classique était une question d'ordre empirique plutôt que théorique⁸.

Toutefois, face aux critiques cambridgiennes une crise intellectuelle fut ouverte : il semblait qu'il n'était plus possible de travailler comme avant. Ainsi la tendance la plus manifeste fut de se réfugier auprès de "deux valeurs sûres" : l'évidence empirique et l'exigence formelle (HENIN, 1978).

8. Dans ce domaine l'opinion de FERGUSON est assez claire : "...there is no doubt that the Cambridge Criticism is valid. Indeed, it is broader than it was first thought to be, in that reswitching is not a necessary condition to invalidate the simple "J. B. Clark neoclassical fairy tale". If we live in a fixed-proportions world, which may or may not be true, and if capital goods are heterogeneous, which is unquestionably true, there may not exist an invariant relation between factor proportions and the factor-price ratio... The question that confronts us is not whether the Cambridge Criticism is theoretically valid. It is. Rather the question is an empirical or an econometric one : is there sufficient substitutability within the system to establish the neoclassical results?" (FERGUSON, 1969).

De cette façon, les travaux qui visaient à se rapprocher le plus possible de l'évidence empirique se trouvaient face à l'enjeu de tenir compte de l'hétérogénéité du capital. Et, celle-ci se rencontre à tous les niveaux, car elle ne concerne pas seulement les biens de production durables, mais également les processus de production dans lesquels ils s'insèrent.

Par ailleurs, les économistes qui désiraient présenter des énoncés généralisables durent chercher la sécurité qu'apporte la formalisation mathématique. Mais le risque de cette position est celui d'exiger qu'une réalité technologique s'adapte aux rigueurs de sa représentation mathématique (HENIN, 1978)⁹.

Finalement, la voie intermédiaire fut la recherche de "compromis praticables". Tout d'abord, étant donné que l'absence d'une agrégation correcte du capital peut aboutir à des résultats contradictoires par rapport aux postulats de la théorie néo-classique, sur le plan économétrique l'accent fut mis sur les conditions requises pour l'agrégation du capital. Du point de vue économétrique, si les conditions d'agrégation ne sont pas satisfaisantes les estimations des fonctions de production peuvent tenir compte des variables de marché en violant ainsi les hypothèses qui supposent qu'elles considèrent seulement des variables techniques. La recherche fut donc orientée vers le développement de conditions d'agrégation peu contraignantes (BROWN, 1976).

D'autres exemples de cette recherche d'un "réalisme praticable" se trouvent dans les travaux qui essaient d'approfondir les caractéristiques techniques du processus de production ou qui visent à une plus grande désagrégation du capital (HENIN, 1978).

Cependant la conséquence la plus valable laissée par cette célèbre controverse fut d'avoir contribué à approfondir les réflexions sur la notion de capital et, en particulier, sur sa mesure. Parce que "à partir du moment où l'on admet qu'il n'existe pas une "chose" appelée capital, mais que le capital est un ensemble de biens hétérogènes qu'il convient d'agréger, utiliser "plus" ou "moins" de capital devient au sens propre inconcevable" (ABRAHAM-FROIS et BERREBI, 1976).

A ce propos on trouve des positions très extrêmes, et en même temps assez justes, comme celle évoquée par J. DE BANDT (1976) : "Force nous est donc de nous situer par rapport aux économistes qui, à la suite de J. ROBINSON, ont affirmé que le capital n'existait pas... Il y a d'une part la mort du capital néo-classique, ce stock de capital homogène, qui n'existe pas, qu'il n'est pas possible de concevoir, et qu'il n'est pas possible par conséquent de mesurer. Il n'est pas possible de concevoir au niveau global, puisque c'est surtout de cela qu'il s'agit, un stock de capital susceptible de voir s'appliquer disons les schémas microéconomiques dans lesquels des rapports de productivités marginales s'égalisent avec des rapports de prix."

7. Réflexions finales

L'évolution suivie par la notion de fonction de production au sein de l'Economie part d'une application précise afin de mieux comprendre une réalité précise : le monde agricole dans l'Angleterre du XIX^e siècle. Plus tard, l'idée se

9. "La justice est un cube parfait dit l'ancien sage, et la conduite rationnelle une fonction homogène, ajoute le savant moderne" (EDGEWORTH (1904) cité en : HENIN, 1978).

généralisa, d'un côté à cause de son application à d'autres branches de l'économie qui présentaient une réalité plus complexe à appréhender et, de l'autre côté à cause de son utilisation à des objectifs différents de la simple description des possibilités technologiques.

Par conséquent, si le concept de fonction de production exprime un ensemble de relations techniques entre des quantités de facteurs et des quantités de produit, puisque ces relations sont d'ordre technique, les quantités de facteurs doivent être exprimées (donc mesurées) de manière à ce qu'elles restent inchangées quelles que soient les modifications des variables autres que la technique de production.

Ainsi, la contradiction logique de la macroéconomie néo-classique (plus précisément de la théorie de la productivité marginale) est que, alors que la fonction de production est une description des possibilités techniques de production on prétend fonder sur elle les lois de la répartition du revenu. Et, cette approche macro de la fonction de production a détourné l'intérêt des problèmes au niveau micro, en dévalorisant aussi la notion de fonction de production "aux yeux" de beaucoup d'économistes.

De nos jours le paradigme est que nous prétendons construire des fonctions de production agricole – souvenons nous que l'origine de l'idée de fonction de production se trouve dans l'agriculture – en employant les abstractions que le concept a acquies au cours des années, ce qu'implique l'oubli des caractéristiques qui sont propres au secteur agricole.

Nous passerons maintenant aux procédés employés pour calculer des fonctions de production agricole ainsi qu'aux problèmes rencontrés habituellement.

IV. LES MODELES DE SIMULATION comme FONCTIONS DE PRODUCTION

1. La notion de fonction de production

Le concept de fonction de production, comme on l'a évoqué plus haut, a été pris des sciences physiques et biologiques, où les rapports *input-output* sont générés moyennant des processus que l'on suppose bien connus : ce type de fonctions de production peut donc décrire les lois de la nature¹. L'application de cette idée aux processus non biologiques aboutit aux **fonctions de production d'ingénieur** (CHENERY, 1949).

Dans un tel contexte, la fonction de production représente l'ensemble de relations techniques qui font correspondre une production possible à un ensemble de facteurs mesurés en unités physiques. Si on définit deux vecteurs de quantités :

$$y = \{y_1 \dots y_j\} \quad \text{et} \quad x = \{x_1 \dots x_j\},$$

où le premier correspond aux quantités de produit et le deuxième à celles d'intrants, la production est complètement décrite par le sous-espace de R^{i+j} , tel que pour des raisons techniques $f(y, x) = 0$ (BOUSSARD, 1988 c).

Il faut tenir compte que cette fonction résulte d'un processus de maximisation car son argument y est toujours la production maximale susceptible d'être obtenue avec les quantités d'input x (BOUSSARD, 1987).

Depuis le travail de CHENERY on trouve plusieurs études importantes qui développent des aspects mathématiques ou économétriques de la construction des fonctions de production. Néanmoins, très peu d'entre elles en approfondissant l'idée de fonction de production, aboutissent à la construction de "vraies" fonctions d'ingénieur.

Egalement, le mot "fonction de production" présente des acceptions très différentes selon les divers contextes. Le rapport entre les intrants totaux observés (qui considèrent, dans la généralité des cas, le capital) et la production totale observée dans une unité de production quelconque, selon la façon dont il est estimé par les économétriciens, est très fréquemment un concept assez différent de l'approche, dite d'ingénierie. Dans le premier cas les données sont des statistiques économiques (données de section transversale ou séries chronologiques). Par contre les fonctions de production d'ingénieur s'appuient sur l'information technologique des unités de production individuelles (HILDENBRAND, 1981).

La théorie de la production est plutôt microéconomique du fait qu'elle s'occupe d'*inputs* et *outputs* qui peuvent être différenciés du point de vue physique. SOLOW (1967) souligne que, bien qu'en classe on apprenne très souvent aux étudiants que la théorie de la production est construite sur la base de rapports d'ingénieur entre les *inputs* et les *outputs*, la plupart des travaux réalisés sur la théorie de la production ont un intérêt plutôt macroéconomique. Evidemment, si les inputs et outputs sont des agrégats statistiques comme "travail", "unité de production", "équipement", "bien durable", il n'existe

1. On peut affirmer que les fonctions de production agricoles présentent des applications empiriques très proches de cette notion de fonction de production.

aucune possibilité de trouver de vrais rapports d'ingénieur (SOLOW, 1967). Cependant, afin d'obtenir des relations macroéconomiques valables du point de vue théorique² il faut être capable de déduire les fonctions de production sous-jacentes au niveau microéconomique (LEVHARI et SHESHINSKI, 1970).

Selon CAVALLO et MUNDLAK (1982) il n'y a pas de rapports d'ingénieur purs qui puissent être mis en évidence par des moyens économétriques. D'abord parce qu'une agrégation idéale des inputs et outputs dépend des prix, ce qui suppose que l'on connaît déjà les fonctions de production sous-jacentes – celles que l'on veut estimer avec les variables agrégées. En deuxième lieu, les fonctions de production microéconomiques changent dans le temps en affectant ainsi les rapports qui existaient entre les *inputs* et *outputs* agrégés³.

La polémique sur la possibilité d'estimer empiriquement des fonctions de production et sur la signification de celles-ci se poursuit depuis plus de cinquante ans. On trouve "une alternance de travaux théoriques et méthodologiques qui affrontent les difficultés d'estimation et proposent des procédures statistiques raffinées pour les surmonter, et d'études empiriques qui s'intéressent assez peu aux précédentes" (FAUDRY, 1974).

Toutefois, les fonctions de production ajustées à partir de données expérimentales sont les seules à pouvoir être estimées de façon satisfaisante. Mais elles ne concernent en général qu'une seule activité très précise et ne prennent en compte que des *inputs* très précisément définis. D'ailleurs, c'est une des principales raisons qui font que leur estimation soit réellement satisfaisante (FAUDRY, 1974).

2. La construction de fonctions de production

Deux aspects à prendre en compte dans la formulation de fonctions de production sont : la forme fonctionnelle choisie pour ajuster les données et, la qualité et la quantité de l'information à employer.

A. Les formes fonctionnelles

L'approche conventionnelle dans l'analyse empirique des relations de production se base sur l'estimation des paramètres de familles fonctionnelles choisies *ad hoc*, par commodité ou par des justifications plus ou moins convaincantes (p.e. formes fonctionnelles déjà connues comme celles de Cobb-Douglas ou CES⁴). En général, une telle spécification des formes fonctionnelles implique des suppositions très fortes sur la distribution de l'information technologique parmi les différentes unités de production (HILDENBRAND, 1981).

Un aspect assez singulier mais qui sert bien à illustrer les restrictions que peuvent imposer certaines formes fonctionnelles sur les caractéristiques techniques est celui lié à l'estimation de l'élasticité de substitution⁵.

On peut affirmer que quelle que soit la source de données employée afin de construire une fonction de production, l'élasticité de substitution n'est pas forcément constante tout au long des isoquants sauf dans des contextes très spécifiques (HILDENBRAND, 1981). Parce que, comme il s'agit d'un concept local, d'une façon analogue à la pente d'une courbe quelconque, l'élasticité de substitution d'une fonction de production peut varier entre deux points différents.

Néanmoins, pendant de nombreuses années la forme analytique la plus populaire parmi les économistes fut la fonction Cobb-Douglas. Il se trouve que pour cette fonction l'élasticité de substitution entre deux inputs quelconques est en tout point constante et égale à l'unité. Ensuite, en utilisant une élasticité de substitution constante, mais différente de 1, on a abouti à la fonction CES. Une telle fonction est donc plus générale que la Cobb-Douglas qui, du reste, en est un cas particulier. Et pourtant il est aussi arbitraire de supposer que l'élasticité de substitution est la même pour tous les points, bien que la valeur soit différente de l'unité (BOUSSARD, 1988 c).

D'autres formes analytiques introduites au cours des années afin de construire des fonctions de production furent les fonctions CES emboîtées, la fonction CRESH⁶, la maintenant célèbre fonction translog et finalement la forme flexible de Fourrier. Mais comme l'indique BOUSSARD (1987) "toutes les fonctions qui viennent d'être (énumérées) sont des approximations valables dans un intervalle de variation réduit autour d'un point d'équilibre"

Une voie différente consiste à estimer les fonctions de productions moyennant l'utilisation de modèles de programmation linéaire. Cette procédure qui, selon BOUSSARD (1987) permet de mettre en évidence que l'élasticité de substitution n'est pas une valeur constante dans les différents points de la fonction de production repose sur la construction d'une "matrice technologique". Autrement dit, l'utilisation de la programmation linéaire se base sur la "représentation" de la réalité à partir de l'information technique disponible *a priori*.

On peut donc retenir que le choix de la forme algébrique doit reposer sur la connaissance que l'on dispose concernant le processus technique de production à analyser.

D'ailleurs, certaines constatations sur des ajustements très satisfaisants obtenus avec de formes algébriques assez différentes, permettent de suggérer que la signification statistique de l'ajustement d'une fonction quelconque ne constitue pas une preuve de sa validité tant du point de vue technique, qu'économique.

En tout cas, l'enjeu est toujours celui de spécifier une forme analytique qui permet de décrire une fonction *inconnue*. Dans ce sens, les trois critères cités par POPE (1984) afin de juger les mérites des formes fonctionnelles dans une analyse économique nous semblent essentiels. D'abord, la fonction doit être suffisamment flexible pour décrire les processus en étude. Deuxièmement, il faudra qu'elle s'adapte à la théorie sous-jacente. Enfin, la forme analytique devra permettre d'obtenir des résultats qui présentent une interprétation économétrique compréhensible.

Une proposition intéressante est celle de HILDENBRAND (1981) qui suggère de "calculer" et d'analyser des fonctions de production avec des "paramètres libres" en utilisant simplement la distribution de l'information

2. ou simplement des relations qui supposent un niveau d'agrégation au dessus de l'unité de production (soit au niveau régional soit au niveau sectoriel)

3. Enfin, Solow, lui-même, n'y croyait pas : "If aggregation is inevitable, relax and enjoy it" (SOLOW, 1967).

4. "Constant Elasticity of Substitution"

5. "On peut interpréter l'élasticité de substitution σ comme la variation relative du rapport entre les quantités d'inputs liée à une variation de 1 % des rapports des prix de ces inputs" (BOUSSARD, 1987).

6. "Constant Ratios of Elasticity of Substitution Homogeneous or Homothetic"

Un autre aspect crucial quand on utilise l'inférence statistique consiste à disposer d'une **source de variabilité**. Dans la pratique habituelle de l'économétrie il y a deux sources de variation possibles : le temps et l'espace. Dans l'espace on utilise des échantillons de firmes. Or, on peut se demander si celles-ci sont soumises à la même fonction de production, afin de pouvoir estimer correctement les paramètres de la fonction de production commune à toutes les entreprises de l'échantillon. Dans le cas où l'on emploie des séries chronologiques l'hypothèse est encore plus redoutable : la fonction de production ne doit pas changer au cours des différentes années (BOUSSARD, 1987). Cette fois on peut s'interroger sur le rôle que jouera le progrès technique.

GRILICHES et RINGSTAD (1971) en disant : "Les données micro au niveau d'unité de production sont *terra incognita* pour les économistes"⁷, nous amènent à nous demander si les difficultés auxquelles on se heurte avec l'approche économétrique conventionnelle ne pourraient pas à être mitigées en améliorant, surtout, la **qualité de l'information employée dans l'estimation**.

3. Les modèles de simulation

Il existe depuis quelques années des méthodes purement agronomiques pour établir les rapports *input-output* en ce qui concerne la production végétale : ce sont les **modèles de simulation de croissance des plantes**. Ces modèles, dans la mesure où ils peuvent fournir à l'économiste les résultats, en terme de production, des différentes combinaisons de facteurs de production, constituent un moyen très intéressant pour la construction de fonctions de production d'ingénieur (BOUSSARD, JACQUET et FLICHMAN, 1987).

D'une façon très générale tous les modèles dans l'histoire des sciences "simulent" le système modélisé, mais il est nécessaire de faire une distinction entre un modèle qui reproduit le comportement d'un système et un modèle de type statique. Afin d'être plus précis on définira le terme "simulation" comme une manipulation numérique d'un modèle symbolique d'un certain système au cours du temps (ANDERSON, 1975). Cela veut dire que notre intérêt est centré sur une modélisation de type **dynamique**.

Pendant les dernières années beaucoup de chercheurs ont travaillé dans le développement et l'application de modèles de simulation agronomique ainsi que sur la formation de banques de données de ressources naturelles. Ce type de modèles a été très souvent développé dans le but d'approfondir la **connaissance des processus agronomiques** et ses interdépendances. Ils sont très utiles dans des **programmes de recherche interdisciplinaire**, ainsi que pour faire des prédictions sur les conséquences des **changements des pratiques agricoles** (JONES, 1988).

Durant la dernière décennie les modèles de simulation développés ont été centrés soit sur des processus individuels comme le climat, l'hydrologie, l'érosion soit sur la physiologie de cultures spécifiques (on peut retenir parmi d'autres *CERES-Maize* et *CERES-Wheat*⁸). Par contre, les modèles développés récemment présentent une **vision plus globale des systèmes agronomiques** (JONES, 1988).

7. "Micro-data at the plant level are largely *terra incognita* for economists" (GRILICHES et RINGSTAD, 1971).

8. *Crop-Environment Resource Synthesis*

technologique au niveau micro. Autrement dit, l'auteur n'impose pas de distributions statistiques choisies *a priori* aux données techniques utilisés. Il faut remarquer que dans un tel contexte l'intérêt n'est pas centré sur des problèmes d'"estimation" des rapports de production à partir d'observations de différents niveaux *input-output* car il s'agit de "calculer" et non d'estimer des fonctions de production. Toutefois, le noyau de cette approche repose tant sur la quantité, que sur la qualité de l'information dont le chercheur dispose.

En outre, à court et à moyen terme une fonction de production continue (Cobb-Douglas, CES, ou similaire) peut être une représentation un peu éloignée de la réalité au niveau microéconomique. Des choix discrets, qui supposent une quantité peu élevée d'activités agricoles, sont plus réalistes dans le cas où les choix intermédiaires sont peu significatifs. Ainsi, les fonctions de production continues peuvent représenter seulement des approximations des fonctions de production discrètes réelles et non l'inverse (HAZELL et NORTON, 1986).

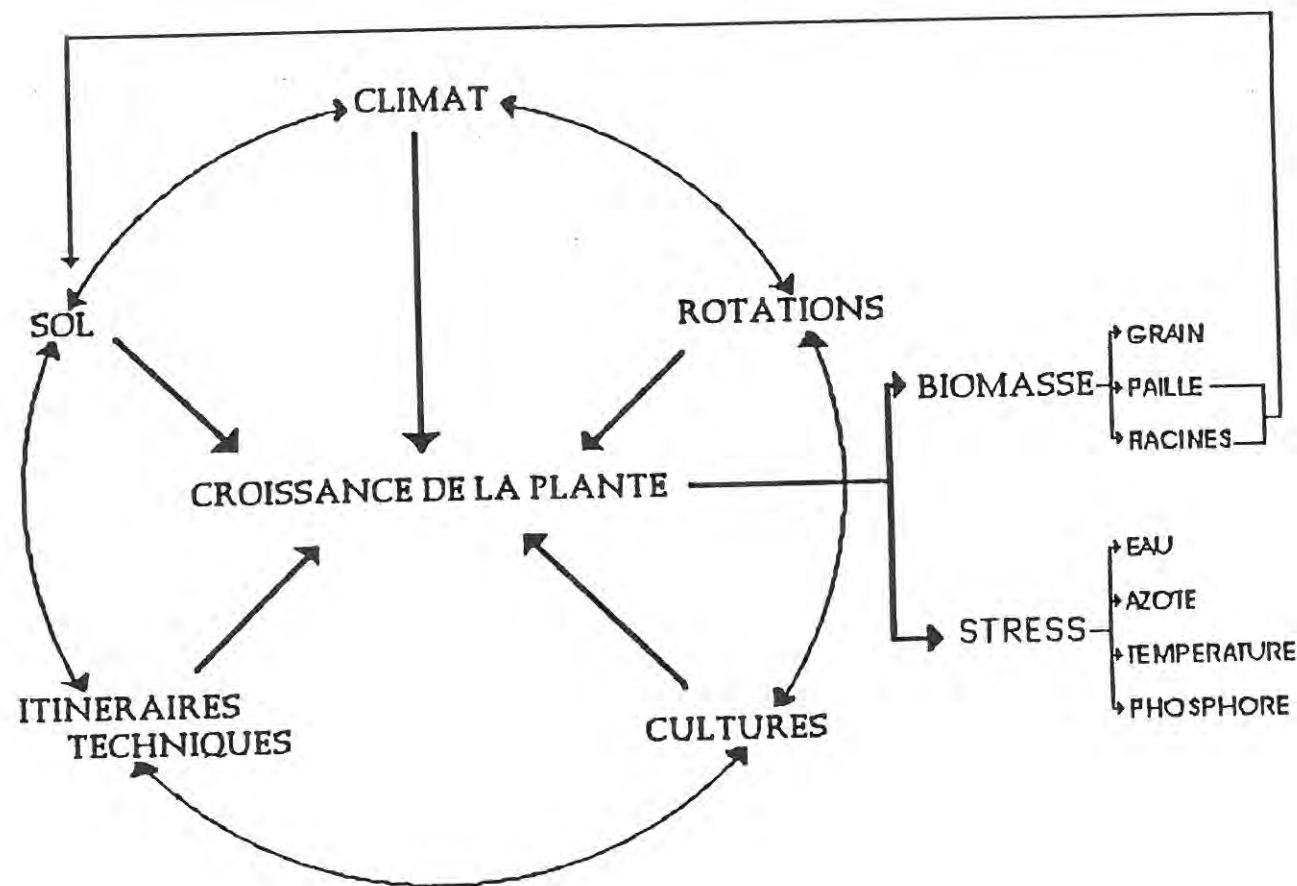
Pour conclure, dans cette discussion il est très utile de se rappeler que "l'économétrie est l'instrument d'un raisonnement de type expérimental, qui consiste à formaliser les idées – bonnes ou mauvaises – que l'on peut avoir *a priori* sur un phénomène économique pour en tirer les conséquences logiques" (BOUSSARD, 1980). Autrement dit, la formalisation mathématique des problèmes économiques est un outil expérimental qui permet de modéliser la réalité. Or, comme dans toute expérimentation le modèle doit être validé en vérifiant la cohérence entre les résultats du modèle et la réalité, c'est-à-dire, comme l'indique BOUSSARD (1980) "un bon modèle économétrique doit être testable".

B. Les données

Au-delà de la qualité du modèle économétrique, il faudra considérer la quantité et la qualité de l'information disponible. A tel point que très souvent, dans les travaux statistiques, on se heurte à deux types de problèmes. D'un côté, l'existence d'un **nombre** limité d'observations dans les échantillons de firmes est un inconvénient assez grave quand on veut estimer les paramètres des fonctions (car le nombre de paramètres doit être inférieur à celui des observations) surtout dans le cas de certaines types de formes analytiques. D'un autre côté, on n'est pas toujours sûr que l'échantillon des exploitations considéré a été obtenu d'une **façon aléatoire** (BOUSSARD, 1987).

Une démarche différente consisterait à générer les données par la voie d'une méthode, dite expérimentale. De cette façon on pourrait "produire" le nombre d'observations désiré pour l'estimation statistique (si on a le temps et la patience nécessaire) et, en même temps, on serait sûr que le hasard a gouverné l'obtention de l'échantillon, ou au moins on connaîtrait de façon précise les conditions sous lesquelles les données ont été obtenues. Néanmoins, les travaux expérimentaux agronomiques ne sont pas, en général, une source appropriée de données pour la recherche économique parce que fréquemment les agronomes "produisent" une information de type qualitatif sans considérer les aspects quantitatifs des techniques testées ou encore de type assez partiel (expériences de fertilisation et/ou d'irrigation ou comparaisons de la performance de différentes variétés) sans tenir compte de l'ensemble du système de culture. Autrement dit, on trouve une divergence entre les objectifs de la recherche agronomique et ceux de la recherche économique qui aboutit à un désaccord très net entre le type d'information générée et utilisée par chacune.

FIGURE 1 – Les inter-rélations dans le modèle EPIC.



Source : PUTMAN et DYKE (1987, p. 4).

Les paramètres du **climat** qui sont nécessaires pour les simulations avec EPIC sont la précipitation, la température de l'air, la radiation solaire et certaines caractéristiques du vent.

Le sous-modèle d'**hydrologie** permet de simuler le volume et le taux de décharge de l'eau à partir de la précipitation, la neige et l'irrigation.

En ce qui concerne l'**érosion**, EPIC montre la perte du sol due à l'érosion aussi bien hydrique, qu'éolienne. De plus, comme l'érosion peut être un processus assez lent, EPIC a été dessiné pour faire des simulations de plusieurs centaines d'années.

Les deux **nutriments** considérés dans EPIC sont l'azote et le phosphore. Les différents processus d'apport et de consommation ou perte de nutriments, sont considérés dans la simulation.

Le sous-modèle de **croissance de plantes** simule l'interception de la lumière, la conversion d'énergie en biomasse, sa répartition entre les racines, la

Depuis 1981 l'équipe de chercheurs du Blacklands Research Station, à Temple, Texas⁹, dirigée par J. R. Williams, travaille sur un modèle de simulation qui puisse représenter les processus liés à l'érosion du sol. Il est connu que l'érosion peut réduire la productivité du sol, mais le rapport entre la productivité et l'érosion n'est pas clairement défini. Ainsi, un modèle mathématique, nommé **EPIC** (*EROSION-PRODUCTIVITY IMPACT CALCULATOR*) a été développé afin de déterminer cette relation (WILLIAMS, JONES et DYKE, 1984).

4. Le modèle EPIC

Selon PUTMAN et DYKE (1987) EPIC est un modèle sophistiqué de **fonction de production** qui simule l'interaction entre les processus du sol, du climat, de la plante et de la conduite des cultures dans la production agricole. Or, le modèle EPIC permet de simuler la croissance d'environ 70 espèces végétales en fonction, d'un côté, des conditions pédologiques et climatiques des régions considérées et, de l'autre côté, des variables spécifiques de chaque culture ainsi que des itinéraires techniques employés sur le terrain.

Par conséquent, étant donné une série d'intrants et une série de contraintes physiques le modèle optimise le rendement agronomique des diverses cultures : EPIC est donc une vraie fonction de production. Cela veut dire que les rendements obtenus, moyennant l'utilisation d'EPIC sont les optima du point de vue agronomique.

Les composantes d'EPIC sont réunies en **8 sous-modèles interdépendants** (FIGURE 1) qui permettent de simuler le climat, l'hydrologie, l'érosion, le cycle de nutriments, la croissance des plantes, les propriétés du sol, les itinéraires techniques de chaque culture et le contrôle de l'environnement des cultures (WILLIAMS, JONES et DYKE, 1988).

9. Cette station est formée par les Services de Recherche Agricole (*Agricultural Research Service*) et de Conservation de Sols (*Soil Conservation Service*) du Ministère de l'Agriculture des Etats-Unis (USDA) ainsi que par la Station d'Expérimentation Agricole de Texas (*Texas Agricultural Experiment Station*) de la Texas A & M University à Temple. L'équipe de chercheurs est interdisciplinaire, et comprend des physiologistes, pédologues, informaticiens et économistes.

Le modèle EPIC fut validé pour les conditions d'environnement du sud-ouest de la France. Les simulations d'EPIC furent comparées avec des résultats de parcelles expérimentales sous divers systèmes de cultures par l'équipe de chercheurs de l'INRA de Toulouse-Auzeville, France (MARTY, HUTTER et RELIER, 1981 ; CABELGUENNE, CHARPENTEAU, JONES, MARTY et RELIER, 1986).

5. EPIC comme fonction de production

Le niveau technologique employé par un agriculteur individuel dépend des ressources climatiques, pédologiques, génétiques, humaines et économiques dont il dispose. Les modèles de simulation permettent de reproduire les différentes ambiances physiques et technologiques trouvées sur le terrain. De même, ils sont convenables pour évaluer le risque lié aux différentes pratiques culturelles, tant en ce qui concerne l'interaction avec la variabilité climatique, que les conséquences sur l'environnement¹⁰.

En reproduisant les caractéristiques climatiques et pédologiques ainsi que les assolements des cultures et le niveau technique employé dans une exploitation donnée, il est possible d'ajuster une fonction pour chaque activité pratiquée sur l'exploitation, ce qui suppose que la recherche puisse s'effectuer dans des conditions proches de l'expérimentation. Autrement dit, si les possibilités de production d'une exploitation dans un moment donné sont décrites par une famille d'activités de production, étant donné un certain schéma technologique, cette famille représentera tout l'éventail de choix possibles. Or, les combinaisons très variées observées sur le terrain dans les différentes exploitations constituent une approximation de ce qui est un plan d'expérimentation.

Cette méthodologie nous permet donc de représenter l'hétérogénéité de situations au niveau des exploitations agricoles, aussi bien dans une région, que dans un pays. De sorte que l'on pourra construire des fonctions de production tant au niveau de ferme individuelle, qu'au niveau de région ou de pays en employant une certaine méthode d'agrégation¹¹. Dans le dernier cas il s'agira de l'enveloppe de plusieurs fonctions de production. Or, il est évident que l'analyse sera plus précise quand on travaille avec plusieurs modèles de ferme, selon la typologie d'exploitation considérée (BOUSSARD, 1987).

Si on utilise les données obtenues au moyen de la simulation comme s'il s'agissait des données réelles récoltées sur le terrain on pourra ajuster des fonctions de production, en employant une méthodologie économétrique. L'obtention de ces fonctions continues bénéficie de quelques avantages au niveau méthodologique et pratique, comme les possibilités, d'un côté de dérivation des fonctions continues et de l'autre côté de réalisation d'estimations d'intervalles de confiance. Finalement on pourra étudier la stabilité des valeurs estimées.

Comme il est possible de faire un nombre très élevé de simulations on peut arriver à connaître avec certitude la **distribution de probabilité** des

10. EPIC permet d'évaluer l'érosion produite car le logiciel indique les millimètres perdus de la couche superficielle du sol.

11. On remarquera la différence de procédé que cela suppose d'agréger des fonctions de productions, quand on connaît déjà les fonctions qui représentent le système au niveau désagrégé.

partie aérienne et le grain, ainsi que la consommation d'eau et de nutriments. La croissance végétale peut être restreinte par stress d'eau, de nutriments, de la température de l'air ou de l'aération du sol. Un fichier de paramètres des cultures est la source des données utilisées par le sous-modèle de croissance de plantes. Ces données sont nécessaires pour différencier les caractéristiques de croissance, les paramètres physiques et les propriétés chimiques des espèces. La sensibilité des cultures individuelles à la température et à la radiation permet aussi d'ajuster les différences entre les variétés.

Pour ce qui est des caractéristiques du sol, EPIC simule les différents changements produits dans les propriétés du sol. Les caractéristiques du sol qui sont nécessaires afin de faire les simulations comprennent la densité du sol, la granulométrie, le pourcentage d'azote organique, de nitrates et de carbone organique, le PH, le complexe absorbant, la capacité au champ, le point de flétrissement, les restes des cultures et le contenu en phosphore.

Le sous-modèle qui représente les **itinéraires techniques** est contrôlé par l'information que l'on introduit sur les rotations possibles, c'est-à-dire, les successions des cultures, la séquence des travaux agricoles et les types de machines employées.

Enfin, le sous-modèle de **contrôle de l'environnement** des cultures inclut les processus liés à l'irrigation, et la fertilisation, en considérant aussi l'influence des insectes, des adventices et de maladies sur les différentes espèces.

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

Ce type de modèle de simulation peut être employé pour l'évaluation de différents systèmes de production agricole, pour l'estimation des résultats des diverses techniques culturelles, pour la prédiction des rendements dans les différentes régions, pour l'ajustement de certaines techniques comme l'irrigation ou la fertilisation et, enfin pour l'évaluation de la dégradation du sol à cause de l'érosion et des systèmes de culture qui supposent une utilisation trop intensive du sol.

Une étape essentielle pour l'application des modèles de simulation tant pour des cultures spécifiques que pour différents assolements est sa **validation**. Autrement dit, il faut décider si le processus de simulation est arrivé à mimer le monde réel. De ce point de vue il est indispensable de disposer des résultats de l'expérimentation agronomique sur le terrain. Or, quelquefois on trouve que la traduction des modèles conceptuels en modèles de simulation mathématique montre les défauts de notre connaissance des processus agronomiques. C'est pourquoi les trois activités : le développement des modèles, sa validation et son application doivent être soigneusement enchaînées afin d'aboutir à une utilisation correcte de la méthodologie.

Le fait de représenter la croissance de plantes dans une diversité de situations agronomiques permet de considérer les risques liés à certaines activités. Par conséquent, dans l'étape de validation il faudra tenir compte tant de la reproduction des moyennes des résultats que de celle de la distribution de fréquences.

supérieures à celles calculées au moyen de l'information locale agrégée. En effet, les données régionales ne sont pas appropriées afin d'évaluer le risque au niveau de l'exploitation agricole. C'est pourquoi, l'utilisation d'EPIC comme outil expérimental offre des avantages du fait de la possibilité de reproduire les différentes situations trouvées au niveau de l'exploitation individuelle, comme on l'a indiqué précédemment.

données¹² et cela renforce les prévisions à faire en permettant aussi d'analyser des nouvelles techniques, lesquelles n'ont pas d'autre possibilité d'être validées (EKBOIR, 1987). Car il faut souligner que les méthodes de simulation de la croissance de plantes permettent aux chercheurs d'évaluer les différentes cultures sous des conditions climatiques et pédologiques, ainsi que dans des stratégies de production beaucoup plus diverses que celles que l'on peut générer dans les parcelles expérimentales (LOWENBERG-DeBOER et CHERNEY, 1987).

En conséquence cette méthodologie basée sur l'emploi des modèles de simulation, qui ressemble à une vraie expérimentation, est assez différente aux travaux sur les fonctions de production qui utilisent des échantillons des firmes agricoles et qui reposent souvent sur l'idée que les agriculteurs sont efficaces et maximisent leurs profits (BOUSSARD, 1987 b).

De plus, l'éventail de techniques qu'il est possible de générer en utilisant ces modèles de simulation nous permet d'écarter l'influence des prix dans le système de recherche et de développement des innovations. Or, il sera possible de distinguer dans l'avantage comparatif de la production d'un certain pays les effets qui sont dus d'un côté au niveau technique, et de l'autre côté aux ressources naturelles. Par exemple, on pourra tester des systèmes de production très intensifs dans la consommation de fertilisants et de phytosanitaires dans des régions où les systèmes sont comparativement plus extensifs¹³.

L'étude des aspects aléatoires de la réponse de la production aux différentes techniques agronomiques est un sujet assez connu. Dans le domaine de l'économie rurale l'approche traditionnelle a été d'évaluer l'impact du risque lié à l'utilisation d'innovations techniques en employant les données de l'expérimentation agricole. Les observations peuvent donc être générées comme une combinaison de séries chronologiques sur différentes parcelles expérimentales (c'est-à-dire, données de section transversale). Car une spécification raisonnable qui vise à introduire le risque dans les fonctions de production doit considérer au moins deux composantes, à savoir, une qui explique l'effet de l'input sur l'output et, une autre qui permet d'expliquer l'effet de l'input sur la variabilité de l'output (JUST et POPE, 1979).

En employant des données obtenues à partir des simulations il est possible d'estimer des fonctions de production avec des termes qui rendent compte des variations inter-annuelles, soit sur le même sol soit sur des sols différents et aussi de faire des combinaisons avec différentes successions de cultures. Avec ce procédé on pourra faire une évaluation du risque car la fonction sera évidemment aléatoire : pour la même quantité d'input, d'une année sur l'autre, les résultats physiques seront différents, du fait des aléas météorologiques et des changements des caractéristiques du sol ou des assolements.

Dans ce sens, il est important de remarquer que les variations de rendements auxquelles doit faire face un producteur individuel seront toujours

12. En même temps, il serait possible de disposer de la "vraie population" (au sens statistique du terme), ce qui nous permettrait de calculer des fonctions au lieu de les estimer.

13. La réflexion nous renvoie à la théorie de l'innovation induite (HAYAMI et RUTTAN, 1971) selon laquelle "le système de recherche et de développement produit des innovations qui tendent à provoquer des substitutions allant dans le sens de l'évolution générale des prix, c'est ainsi que comme le prix du travail augmente constamment dans les sociétés modernes, le progrès serait orienté de manière à produire des techniques permettant la substitution au travail du capital ou des consommations intermédiaires" (BOUSSARD, 1987).

V. LE MODELE

1. Spécification du modèle

A partir des idées développées dans le chapitre précédent nous présentons une application du procédé pour l'obtention de fonctions de production physiques ou d'ingénierie. L'application proposée se base sur l'estimation d'une fonction de production qui possède quelques points en commun avec celle du modèle FLICHMAN-JACQUET (cf. page 24) où la variable dépendante est la production à l'hectare et la terre est un facteur fixe. Cependant, la fonction à construire ne présentera pas comme unique variable indépendante l'intensité de capital (ce qui était le cas dans le modèle mentionné) mais l'estimation sera réalisée d'une façon plus désagrégée en considérant les différentes composantes de la technologie disponible.

Les fonctions de production à construire seront l'enveloppe de plusieurs techniques où un large degré de substitution entre les différents facteurs de production sera considéré¹. Autrement dit, nous ne calculerons pas des fonctions indépendantes pour chaque technique, c'est-à-dire pour l'irrigation ou la fertilisation, puisque tout l'éventail de techniques possibles sera intégré dans la fonction.

Le modèle sera donc le suivant :

$$y = f(T/E)$$

où,
y = production,
E = environnement physique, et
T = technologie.

Autrement dit, la production est fonction de la technologie employée (T), étant donné l'ensemble des ressources naturelles de l'exploitation (E).

Tant que possible nous exprimerons les variables moyennant des unités physiques, sans faire appel à des unités monétaires. De toute façon, dans les cas où le recours à une agrégation des variables est nécessaire nous emploierons la structure de prix d'un pays comme étalon, c'est-à-dire seulement comme un élément de pondération quelconque.

1. Avec MUNDLAK et HELLINGHAUSEN (1982) on définit la technologie comme une collection de techniques où chaque technique est représentée par une fonction de production particulière.

L'efficacité technique sera garantie d'abord par le logiciel EPIC, car les rendements obtenus seront les maximales pour les différentes techniques, par rapport à un environnement considéré comme donnée. Deuxièmement, on recherchera les points techniquement efficaces en relation avec la consommation d'intrants faite par chaque technique (ou activité)² évaluée. Pour cela le critère à employer sera le suivant :

si

x_t = production à l'hectare obtenue avec l'activité t ,

et

a_{it} = consommation de l'*input* i par l'activité t .

Alors, $q_{it} = a_{it}/x_t$ seront les coefficients techniques qui nous aideront à rechercher les points techniquement efficaces. Car les activités à éliminer seront celles pour lesquelles $q_{it} > q_{it'}$ pour tout i .

De cette manière nous balayerons un large éventail de solutions techniques, en nous efforçant systématiquement de rechercher des techniques minimisant l'emploi de chaque type d'intrant (engrais, phytosanitaires, etc.).

Ces fonctions rendront compte de la technologie pour la culture de blé en Argentine et en France. Mais, d'une façon plus précise encore les fonctions que nous calculerons représenteront la technologie employée ou qu'il est possible d'employer dans un certain type de exploitation d'une certaine région agricole.

Pour ce qui est des régions choisies pour l'analyse : Tres Arroyos en Argentine et la région agricole de la Beauce en France, comme on a évoqué précédemment, elles se détachent par leur spécialisation dans la production de blé en contribuant ainsi, dans une large mesure, aux productions nationales de cette céréale. Dans l'ANNEXE 2 nous présenterons une description des régions concernées.

2. La fonction

En ce qui concerne la forme fonctionnelle, bien que les types d'équations qui puissent représenter une fonction de production sont presque illimités on exigera d'elles au moins les trois caractéristiques qui suivent.

- En première lieu, étant donné que la présence dans l'équation d'un terme constant suppose qu'un certain niveau positif de production peut être atteint sans l'utilisation d'*inputs* – situation qui est peu vraisemblable – (FERGUSON, 1969) on supposera que la fonction de production ne porte pas de **constante additive**.
- En deuxième lieu, on a la possibilité de faire que les variables "entrent" dans la fonction aussi bien seules que comme des groupes multiplicatifs. La supposition la plus logique sera celle de considérer qu'il faut une utilisation positive et simultanée d'un groupe d'intrant

2. Nous employons le terme "activité" dans l'acception couramment utilisée dans les modèles de Programmation Linéaire.

afin d'obtenir une production "positive" (FERGUSSON, 1969). Autrement dit, il est nécessaire que certaines variables "entrent" dans la fonction comme des **groupes multiplicatifs**.

- En troisième lieu, il faut tenir compte de ce que tous les *inputs* ne sont pas toujours strictement nécessaires pour la production agricole. Par conséquent, certains d'entre eux resteront en dehors du groupe multiplicatif. Cela veut dire qu'il y aura des variables qui joueront dans la fonction d'une façon **additive**.

En résumé, la fonction présentera :

i. un groupe multiplicatif qui rassemble les variables qui sont absolument nécessaires pour la production agricole, comme les semences, la main-d'oeuvre et le matériel agricole.

ii. un groupe additif qui tient compte des variables qui ne sont pas strictement nécessaires pour l'obtention de l'*output*, comme les fertilisants, l'irrigation et les produits chimiques.

Ainsi le modèle proposé est le suivant :

$$\ln y = a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + b_{11} \frac{1}{2} (\ln x_1)^2 + b_{22} \frac{1}{2} (\ln x_2)^2 + b_{12} \frac{1}{2} \ln x_1 \ln x_2 + c_{13} x_3 \ln x_1 + c_{14} x_4 \ln x_1 + c_{15} x_5 \ln x_1 + c_{23} x_3 \ln x_2 + c_{24} x_4 \ln x_2 + c_{25} x_5 \ln x_2 + u$$

où, y est la production à l'hectare

x_1, x_2 sont les variables de type multiplicatif

x_3, x_4 et x_5 sont les variables de type additif

et u est la composante aléatoire.

3. Les données

Pour ce qui est des données nécessaires afin d'estimer les fonctions de production, nous considérerons une certaine typologie d'exploitation qui nous aidera à mieux situer les unités de production à considérer. Celles-ci, même si elles ne représenteront pas la situation "moyenne", elles ne correspondent pas non plus à des exploitations de "point". Dans l'ANNEXE 3 on présente une description des exploitations considérées.

Dans le cadre de ces exploitations nous simulerons différentes rotations avec le modèle EPIC. Cela suppose tant une succession différente des cultures que, dans certains cas, l'incorporation de pâturages.

Etant donné les différents assolements, des divers techniques seront simulées pour les diverses cultures analysées : niveaux de fertilisation différents, arrosages avec divers systèmes et aussi plusieurs types de traitements phytosanitaires.

La diversité de structures au niveau de l'exploitation agricole sera représentée, notamment, par du matériel agricole de taille différente.

En résumé, les simulations impliqueront la répétition de différentes rotations sous des techniques de production diverses. De cette façon on arrivera à obtenir un nombre élevé de données pour chaque culture dans l'assolement. Les données à employer pour l'estimation des fonctions seront donc les moyennes de plusieurs années de simulation pour chaque culture dans le cadre d'une certaine rotation. Dans l'ANNEXE 4 nous décrivons les activités simulées avec EPIC.

4. Le modèle empirique

Les variables que nous avons retenues dans le modèle sont celles qui suivent :

- y = rendement à l'hectare mesuré en qq/ha.
- t = main-d'oeuvre utilisée pour chaque culture mesurée en hs de travail à l'ha.
- e = équipement en matériel agricole pour la culture mesuré en CV à l'ha (y compris l'équipement d'irrigation mesuré également en CV à l'ha).
- f = fertilisant azoté mesuré en unités d'azote à l'ha.
- c = traitement phytosanitaire mesuré en francs à l'ha.

Pour ce qui est des traitements phytosanitaires, nous avons considéré la structure de prix de la France comme étalon, car une agrégation de type physique nous semble peu vraisemblable.

Les variables suivantes seront introduites comme des variables dichotomiques ou *dummy*.

- p = présence ou non de pâtures dans la rotation.
- v = type de variété de blé (traditionnelle ou non traditionnelle).

Ainsi pour le cas de la région de Tres Arroyos l'équation à estimer est :

$$\ln y = a_1 \ln t + a_2 \ln e + b_{11} \frac{1}{2} (\ln t)^2 + b_{22} \frac{1}{2} (\ln e)^2 + b_{12} \frac{1}{2} (\ln t \ln e) + c_{14} f \ln t + c_{15} v \ln t + c_{16} p \ln t + c_{24} f \ln e + c_{25} v \ln e + c_{26} p \ln e + u$$

En ce qui concerne la région de la Beauce la fonction est la suivante :

$$\ln y = a_1 \ln t + a_2 \ln e + b_{11} \frac{1}{2} (\ln t)^2 + b_{22} \frac{1}{2} (\ln e)^2 + b_{12} \frac{1}{2} (\ln t \ln e) + c_{13} f \ln t + c_{14} c \ln t + c_{15} p \ln t + c_{23} f \ln e + c_{24} c \ln e + c_{25} p \ln e + u$$

La différence fondamentale entre la spécification des deux fonctions réside dans l'introduction d'une variable qui rend compte des différences entre

les variétés de blé (traditionnelles ou améliorées) dans les cas de la fonction pour Tres Arroyos, car la dernière expansion agricole en Argentine a été déclenchée notamment par l'amélioration génétique. Pour l'exemple français nous avons considéré une composante qui considère des traitements phytosanitaires différents du fait que ceux-ci présentent une importance notable dans les itinéraires techniques des agriculteurs beaucerons.

Il faut remarquer qu'il s'agit d'une fonction de production moyenne où les aléas dus à la variabilité climatique ou pédologique sont sous contrôle parce que les données pour chaque région sont générées sous des conditions climatiques et pédologiques similaires.

La méthode d'estimation des fonctions de production est celle de moindres carrées, alors que le logiciel employé est micro TSP (version 5.0) développé par Quantitative Micro Software, Irvine, California (Etats Unis).

5. Les estimations

Les estimations du modèle présentent les résultats qui suivent (les valeurs entre parenthèses, au-dessous des coefficients des fonctions, sont celles du t de Student) :

Tres Arroyos

$$\begin{aligned} \ln y = & 2,989 \ln t + 2,216 \ln e - 1,482 \frac{1}{2} (\ln t)^2 - \\ & (-5,76) \quad (2,67) \quad (-2,71) \\ & - 1,336 \frac{1}{2} (\ln e)^2 - 0,914 \frac{1}{2} (\ln t \ln e) + \\ & (-3,57) \quad (-1,22) \\ & + 0,001 f \ln t + 0,001 v \ln t + 0,100 p \ln t + \\ & (1,80) \quad (0,03) \quad (2,43) \\ & + 0,001 f \ln e + 0,025 v \ln e + 0,038 p \ln e \\ & (1,07) \quad (0,52) \quad (0,59) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R^2 &= 0,84 & n &= 64 \\ R^2 &= 0,81 & F &= 28,55 \end{aligned}$$

La Beauce

$$\begin{aligned} \ln y = & 1,416 \ln t + 2,110 \ln e + 0,503 \frac{1}{2} (\ln t)^2 - \\ & (1,99) \quad (3,72) \quad (0,35) \\ & - 0,581 \frac{1}{2} (\ln e)^2 - 1,482 \frac{1}{2} (\ln t \ln e) - \\ & (-1,54) \quad (-0,98) \\ & - 0,001 f \ln t - 0,000 c \ln t - 0,072 p \ln t + \\ & (-1,11) \quad (-0,66) \quad (-0,41) \\ & + 0,002 f \ln e + 0,000 c \ln e + 0,165 p \ln e \\ & (2,66) \quad (1,08) \quad (1,23) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R^2 &= 0,97 & n &= 53 \\ R^2 &= 0,96 & F &= 126,95 \end{aligned}$$

Le résultat le plus surprenant de l'estimation réalisée est le signe négatif du terme à la puissance deux pour l'équipement en matériel agricole. Et

pourtant, cela présente une explication relativement simple si l'on tient compte que la plupart des travaux agricoles possèdent une date optimale pour leur réalisation. Ce qui signifie que si ceux-ci sont effectués avant ou après cette date, les rendements peuvent subir des diminutions plus ou moins significatives (FRANK, 1981). Ainsi, le fait de disposer de matériel agricole plus puissant permettra de réaliser les travaux à la date exacte et ce point devient d'extrême importance dans certains cas comme les semailles. Une limitation rencontrée dans les simulations réalisées avec EPIC est la difficulté de rendre avec précision ces différences de rendements dues à l'opportunité de réalisation d'un travail spécifique avec le matériel agricole. Ce qui peut expliquer les signes négatifs rencontrés.

Pour ce qui est des estimations présentées il faut noter que comme il existe un degré plus important d'homogénéité dans la technologie appliquée dans les exploitations agricoles de La Beauce que dans celles de la région de Tres Arroyos (les itinéraires techniques sont plus ajustés en Beauce qu'à Tres Arroyos), la fonction de production serait représentative d'un nombre plus élevé d'exploitations dans la région française que dans celle de l'Argentine.

D'ailleurs, les estimations présentent des R^2 relativement élevés alors que les écarts types des coefficients individuelles sont petits.

Les coefficients qui sont significatives du point de vue statistique dans le cas argentin sont ceux de l'équipement et de la main-d'oeuvre ainsi que celui de l'interaction entre le pâturage et la main-d'oeuvre. Alors que pour ce qui est du cas français, les coefficients linéaires pour l'équipement et la main-d'oeuvre ainsi que le coefficient de l'interaction entre la fertilisation et l'équipement résultent significatifs. Ce qui semble logique étant donné la nette différence de réponse à la fertilisation entre les deux régions : beaucoup plus importante dans la région française.

6. Les caractéristiques techniques

Comme toutes les propriétés des fonctions de production ont été définies en termes physiques ou techniques – rien n'a été supposé par rapport aux prix des intrants et des productions – celles-ci résument simplement les transformations physiques entre les *inputs* et les *outputs*. Par conséquent, les coefficients de régression sont des coefficients de transformation technique car ils ne décrivent que la transformation des différents intrants en quintaux de blé.

Il existe une façon très utile d'examiner l'importance des intrants agricoles, c'est à travers la comparaison des coefficients *beta* (β). Une valeur particulier du coefficient β signifie qu'un changement d'un écart type d'un *input* (variable explicative) conduit, *ceteris paribus*, à un changement d'un β écart type dans la variable dépendante. Un tel changement de l'échelle permet de comparer les coefficients β directement et de juger l'importance d'un *input* vis-à-vis les autres.

Dans le TABLEAU 1 nous présentons les coefficients standardisés (β) qui correspondent au travail et au équipement pour les deux régions.

TABLEAU 1 – Coefficients standardisés

	Tres Arroyos	La Beauce
main-d'oeuvre	4,022	1,087
équipement	7,008	1,807

Premièrement, les résultats indiquent une nette différence entre les deux régions par rapport à l'importance qui présentent les variables explicatives : les estimations des coefficients β sont plus élevées en valeur absolue pour l'estimation argentine que pour la française. Deuxièmement, dans les deux cas l'équipement joue un rôle plus importante que la main-d'oeuvre, c'est ainsi que les rapports entre les coefficients standardisés de l'équipement et la main-d'oeuvre sont de 1,742 pour Tres Arroyos et de 1,662 pour La Beauce. Ces valeurs indiquent l'importance relative de l'équipement en matériel agricole vis-à-vis la main-d'oeuvre. Ce qui semble être pratiquement similaire pour les deux régions.

Une autre manière d'analyser la technologie employée consiste à utiliser l'étude des élasticités partielles de substitution "purement techniques" (σ)³. Deux facteurs de production permettront un certain degré de substitution entre eux si leur élasticité de substitution est positive mais ils seront complémentaires dans le cas où l'élasticité soit négative.

Nous allons présenter les élasticités de substitution entre la main-d'oeuvre et l'équipement en matériel agricole pour des différents systèmes de production simulés dans les deux régions, à l'aide du TABLEAU 2. La méthode employée pour le calcul des élasticités partielles est celle de R. ALLEN (FERGUSON, 1969).

TABLEAU 2 – Les élasticités de substitution technique (σ main-d'oeuvre/équipement)

	Tres Arroyos	La Beauce
1.	0,860	1,026
2.	1,051	0,989
3.	1,059	1,467
4.	1,471	1,650
5.	1,669	
6.	1,618	

Les systèmes évalués sont les suivants :

Tres Arroyos

1. système sans irrigation, avec pâturages, variétés traditionnelles, sans fertilisation ou avec un niveau bas de fertilisation azotée.

3. Dans le cas de deux *inputs* l'élasticité partielle de substitution coïncide avec l'élasticité de substitution, laquelle est une mesure non-négative de la facilité avec laquelle un *input* peut être substitué par un autre en conservant une production constante. D'après J. ROBINSON l'élasticité de substitution est la variation proportionnelle dans le rapport entre des quantités de facteurs divisé par la variation proportionnelle dans le rapport de leurs productivités marginales physiques (FERGUSON, 1969).

2. idem 1. mais avec variétés améliorées qui présentent plus de réponse à la fertilisation.
3. système non irrigué, sans pâturages, avec variétés améliorées et fertilisation basse à moyenne.
4. système avec irrigation, pâturages, variétés traditionnelles et fertilisation basse à moyenne.
5. idem 4. mais avec variétés améliorées.
6. système avec irrigation, sans pâturages, avec variétés améliorées et fertilisation basse à moyenne.

La Beauce

1. système sans irrigation, avec pâturages, avec niveaux bas de traitements phytosanitaires et fertilisation moyenne à basse.
2. système sans irrigation, sans pâturages, avec niveaux moyens à élevés de traitements phytosanitaires et fertilisation basse à élevée.
3. système irrigué, avec pâturages, avec niveaux moyennes à bas de traitements phytosanitaires et fertilisation moyenne à basse.
4. système avec irrigation, niveaux élevés de traitements phytosanitaires et fertilisation élevée.

En premier lieu, les élasticités partielles de substitution entre l'équipement en matériel agricole et la main-d'oeuvre sont relativement élevées ce qui indiquerait une certaine facilité de substitution entre ces deux inputs, en conservant une production constante. En deuxième lieu, les systèmes de production avec irrigation présentent les élasticités les plus élevées qui sont toujours supérieures à 1. En troisième lieu, on note que les élasticités des systèmes avec pâturages ne diffèrent pas nettement de celles des systèmes où les pâturages ne sont pas inclus.

Il faut tenir compte que ces estimations décrivent seulement une caractéristique technologique des systèmes de production analysés dans la mesure où les prix ne sont pas considérés dans l'estimation.

7. Le passage à l'efficacité économique

Jusqu'ici notre intérêt a été plutôt théorique : en revalorisant la notion de fonction de production d'ingénieur montrer comment il est possible de calculer un tel type de fonction en utilisant des modèles agronomiques de simulation de la croissance de plantes.

La connaissance de la fonction de production d'ingénieur qui caractérise une technologie suffit à répondre à des questions relatives à la substitution de facteurs. Mais, si l'on introduit les prix des facteurs et les règles économiques de maximisation nous arriverons à répondre à un éventail plus large de questions.

Ainsi, dans le cadre des modèles de mesure de l'efficacité on devra forcément faire le passage de l'efficacité technique à l'efficacité économique. Car, évidemment dans le cas de combinaisons productives différentes il n'y a pas nécessairement identité entre l'efficacité technique et économique.

Ces fonctions physiques ne représentent que des contraintes techniques – les paramètres estimés par inférence statistique sont complètement indépendants de tout contexte économique – car ils ont été déterminés à partir de données du type "parcelle expérimentale". Néanmoins, toute production se fait dans un contexte à la fois technique et social, ce qui implique la nécessité de reproduire les autres contraintes qui s'exercent sur l'exploitation agricole.

Autrement dit, comme l'obtention de fonctions de production en utilisant EPIC nous a permis de rester indépendants par rapport aux variables économiques, pour "revenir à la réalité", c'est-à-dire, au niveau de l'exploitation agricole il faudra introduire le système de prix et en même temps reconstruire toutes les contraintes qui s'imposent à l'agriculteur au sein de l'exploitation agricole, notamment ceux liés au risque, à la liquidité et aux facteurs de production, dits fixes (BOUSSARD, 1987).

Il s'agit donc d'étudier les étapes du passage entre l'efficacité technique et économique. On peut se demander comment faire ce passage, en conservant en même temps la cohérence avec le schéma déjà présenté. Cela veut dire qu'il ne suffira pas de transformer la fonction physique en fonction économique en introduisant un système de prix quelconque pour procéder ensuite à des maximisations de bénéfices et des minimisations de coûts. Un tel procédé ne nous permettra pas d'aboutir à une représentation réaliste des activités au sein de l'exploitation agricole.

Une alternative qui nous semble intéressante fut proposée par BOUSSARD (1988 c). Elle se base sur la construction d'un modèle qui fasse une synthèse de la réalité technique et économique au niveau de l'exploitation agricole en employant des estimations de fonctions de production des différentes activités dans le cadre de modèles de programmation mathématique. D'un côté l'utilisation de modèles de programmation mathématique nous permet de mieux représenter le fait que les agriculteurs sont toujours capables de transférer une fraction au moins de leurs ressources productives d'une activité sur l'autre, c'est-à-dire, on n'isole pas les productions de leur contexte. De l'autre côté, comme les différentes cultures peuvent être réalisées sous des techniques diverses, les fonctions de production sont un outil très pratique pour représenter, d'une façon synthétique, l'éventail de possibilités techniques.

On pourra donc spécifier les vecteurs de coefficients techniques comme des fonctions de production, de sorte qu'il ne sera pas nécessaire d'introduire une grande quantité d'activités, en aboutissant ainsi à des matrices de programmation relativement petites.

Par conséquent, l'étape suivante serait de générer des fonctions de production qui incorporent des variables monétaires mais dont l'origine est tant la réalité technique qu'économique de la production agricole. Un tel procédé nous permettra donc d'évaluer, d'une façon exhaustive, les problèmes liés à l'efficacité de la production, l'intensification en capital des systèmes de production et la substitution entre facteurs de production divers.