

Les modèles de simulation comme fonctions de production

Carmen Vicien

Vicien Carmen. Les modèles de simulation comme fonctions de production. In: Économie rurale. N°204, 1991. pp. 46-50.

[Voir l'article en ligne](#)

Le niveau technologique employé par un agriculteur individuel dépend des ressources climatiques, pédologiques, génétiques, humaines et économiques dont il dispose. Une forme synthétique de décrire la diversité de modèles techniques utilisés dans diverses régions serait de représenter la technologie par des « fonctions de production d'ingénieur ». Il existe un très grand inconvénient pour la construction de fonctions de production d'un tel type qui consiste à dépendre d'un petit nombre d'observations passées qui sont très loin de refléter tout l'éventail des possibilités techniques. Une démarche intéressante consiste en l'emploi de modèles de simulation de la croissance des plantes - qui représentent une fonction de production technique dans le sens original du terme - dans le but d'établir les rapports input-output des différentes combinaisons de facteurs de production.

Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.

Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir <http://www.sup.adc.education.fr/bib/>). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.

LES MODÈLES DE SIMULATION COMME FONCTIONS DE PRODUCTION

Carmen VICIEN*

Résumé :

Le niveau technologique employé par un agriculteur individuel dépend des ressources climatiques, pédologiques, génétiques, humaines et économiques dont il dispose. Une forme synthétique de décrire la diversité de modèles techniques utilisés dans diverses régions serait de représenter la technologie par des « fonctions de production d'ingénieur ». Il existe un très grand inconvénient pour la construction de fonctions de production d'un tel type qui consiste à dépendre d'un petit nombre d'observations passées qui sont très loin de refléter tout l'éventail des possibilités techniques. Une démarche intéressante consiste en l'emploi de modèles de simulation de la croissance des plantes - qui représentent une fonction de production technique dans le sens original du terme - dans le but d'établir les rapports input-output des différentes combinaisons de facteurs de production.

THE SIMULATION MODELS AS PRODUCTION FUNCTION

Summary :

The level of technology employed by an individual farmer depends on his climatic, edaphic, genetic, human and economic resources. A synthetic way of describing the diversity of technological models used in the different regions is to represent technology by means of « engineering production functions ». The difficulty for the construction of those functions is to depend upon a scarce number of observations which do not represent the whole set of feasible choices. An interesting alternative is to use agricultural simulation models, which represent a technical production function in its original sense, with the purpose of establishing the input-output coefficients for the different combinations of production factors.

LES FONCTIONS DE PRODUCTION D'INGÉNIEUR

Le concept de fonction de production 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 nature (1). L'application de cette idée aux processus non biologiques aboutit aux **fonctions de production d'ingénieur** (Chenery, 1949).

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).

Solow (1967) indique que la théorie de la production est par essence micro-économique du fait qu'elle s'occupe d'inputs et outputs qui peuvent être différen-

* Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentine.

1. Cependant, la notion de fonction de production fut développée et utilisée notamment par les économistes. 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 (Monza, 1971).

ciés du point de vue physique. Toutefois, le même auteur souligne que, bien qu'en classe on enseigne 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 macro-économique. Evidemment, si les inputs et outputs sont des agrégats statistiques comme « travail », « unité de production », « équipement », « bien durable », il n'existe aucune possibilité de trouver de vrais rapports d'ingénieur. Cependant, afin d'obtenir des relations macro-économiques valables du point de vue théorique (2) il faut être capable de déduire les fonctions de production sous-jacentes au niveau micro-économique (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 micro-économiques changent dans le temps en affectant ainsi les rapports qui existaient entre les inputs et outputs agrégés (3).

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).

LA CONSTRUCTION DE FONCTIONS DE PRODUCTION

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. 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) (4).

Mais, 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, surtout dans le cas de certains 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'obser-

vations désiré pour l'estimation statistique (*si on a le temps et la patience nécessaires*) 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.

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 » (5), nous amènent à nous demander si les difficultés auxquelles on se heurte avec l'approche économétrique conventionnelle ne pourraient pas être mitigées en améliorant, surtout, la qualité de l'information employée dans l'estimation.

LES MODÈLES DE SIMULATION COMME OUTIL EXPÉRIMENTAL

1. Les modèles de simulation agronomique

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).

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

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. 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 substitution (Boussard, 1988).

5. « *Micro-data at the plant level are largely terra incognita for economists* » (Griliches et Ringstad, 1971).

d'autres CERES-Maize et CERES-Wheat (6)). Par contre, les modèles développés récemment présentent une vision plus globale des systèmes agronomiques (Jones, 1988).

Depuis 1981 l'équipe de chercheurs du Blacklands Research Station, à Temple, Texas, 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.

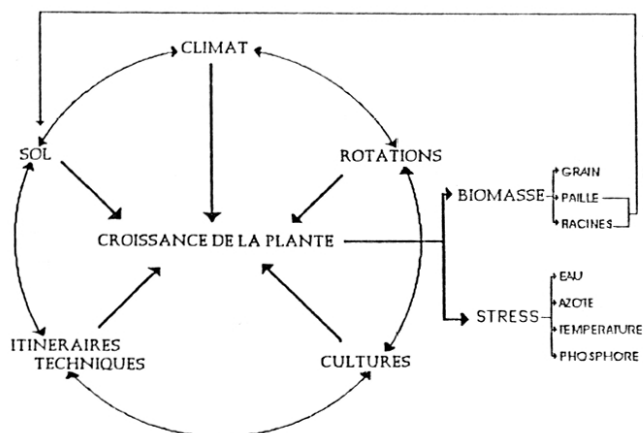
2. Le modèle EPIC

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).

Figure 1. — Les inter-relations dans le modèle EPIC.



Source : Putman et Dyke (1987) p. 4

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 résultats peuvent être générés d'une façon journalière, mensuelle ou annuelle.

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 (7).

3. 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 culturales, tant en ce qui concerne l'interaction avec la variabilité climatique, que les conséquences sur l'environnement (par exemple, l'érosion du sol).

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.

Ce procédé 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'agrégation. 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 (Vicien, 1989).

6. Crop-Environment Resources Synthesis.

7. Le modèle EPIC fut validé pour les conditions d'environnement du sud-ouest

de la France par l'équipe de chercheurs de l'INRA de Toulouse-Auzeville, France.

Comme il est possible de faire un nombre très élevé de simulations on peut arriver à connaître avec certitude la distribution de probabilité des données 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 des 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 (8). 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 (Jacquet et Flichman, 1988). 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 extensifs.

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 (Just et Pope, 1979). En utilisant les 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 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.

En résumé, l'utilisation des modèles de croissance de plantes comme outil expérimental offre des avantages du fait de la possibilité de reproduire l'hétérogénéité physique et technique des exploitations agricoles, ainsi que d'améliorer tant la qualité que la quantité de l'information disponible.

UNE APPLICATION

La méthode proposée fut appliquée à l'estimation de fonctions de production pour la technologie du blé dans deux régions d'Argentine et de France (Vicien, 1989). Ce travail qui fait partie du Projet de Recherche « Les comparaisons internationales d'efficacité en agriculture » (Convention d'étude CIHEAM-Ministère de l'Agriculture-CNRS-Commissariat Général au Plan-INRA) correspond à une étape dans la construction d'un modèle dont le but est mesurer l'efficacité de la production agricole au niveau international (Boussard, Jacquet et Flichman, 1987 ; Flichman, 1988).

A titre d'illustration on présente les résultats de l'estimation d'une fonction de production qui décrit la technologie du blé pour un certain type d'exploitation de la région agricole de la Beauce (les valeurs entre parenthèses, au-dessous des coefficients de la fonction, sont celles des écarts types) :

$$\begin{aligned} \ln y = & 1.416 \ln t + 2.110 \ln e + 0.503 \frac{1}{2} (\ln t)^2 - \\ & (0.710) \quad (0.567) \quad (1.437) \\ & - 0.581 \frac{1}{2} (\ln e)^2 - 1.482 \frac{1}{2} (\ln t \ln e) - \\ & (0.377) \quad (1.509) \\ & - 0.001 f \ln t - 0.000 c \ln t - 0.072 p \ln t + \\ & (0.001) \quad (0.001) \quad (0.173) \\ & + 0.002 f \ln e + 0.000 c \ln e + 0.165 p \ln e \\ & (0.001) \quad (0.000) \quad (0.133) \\ R^2 = & 0,97 \quad n = 53 \\ & - \\ R^2 = & 0,96 \quad F = 126,95 \end{aligned}$$

Les variables retenues dans le modèle sont celles qui suivent :

- y = rendement à l'hectare mesuré en q/ha.
- t = main-d'œuvre utilisée pour chaque culture mesurée en heures 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 (9).
- p = la présence ou non de pâtures dans le système de culture fut introduite comme une variable dichotomique ou *dummy*.

Dans un tel type de fonction toutes les propriétés ont été définies en termes physiques ou techniques - rien n'a été supposé par rapport aux prix des intrants et des productions. 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.

En ce qui concerne les données employées pour l'estimation de la fonction, elles sont les moyennes de plusieurs années de simulation (générées par EPIC) pour chaque culture dans le cadre d'une certaine rotation. Cela suppose tant une succession différente des cultures que, dans

8. La réflexion nous renvoie à la théorie de l'innovation induite (Hayami et Rutan, 1971).

9. Pour ce qui est des traitements phytosanitaires, la structure de prix fran-

çaise fut considérée comme étalon, car une agrégation de type physique nous semblait peu vraisemblable.

certains cas, l'incorporation de pâturages. Etant donné les différents assolements, des diverses techniques ont été simulées pour les cultures analysées : niveaux de fertilisation différents, arrosages avec divers systèmes et aussi plusieurs types de traitements phytosanitaires. Ainsi, les simulations ont impliqué la répétition de différentes rotations sous des techniques de production diverses.

Comme on l'a évoqué plus haut, ce type de fonction de production peut être employé dans la construction de modèles qui permettent d'évaluer l'efficacité de la production agricole dans diverses régions du monde ou encore de modèles complets du secteur agricole.

La modélisation proposée implique 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 (Boussard, 1988). 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 (Boussard, 1982). 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. Ainsi, si l'on spécifie les vecteurs de coefficients techniques comme des fonctions de production il ne sera pas nécessaire d'introduire une grande quantité d'activités et l'on aboutira à des matrices de programmation mathématique relativement petites.

CONCLUSIONS

La notion de fonction de production comme catalogue de techniques disponibles, qui coexistent dans le temps et parmi lesquelles les entrepreneurs peuvent choisir, est utile et présente un sens opérationnel authentique (Robinson, 1953-54). La seule contrainte se trouve dans la complexité de son application au monde réel.

Une démarche intéressante consiste à employer des modèles de simulation de la croissance des plantes comme outil pour la génération des alternatives technologiques. De ce fait :

- d'abord, les observations ne représentent pas seulement les possibilités de production existantes,

- ensuite, les « essais » de génération de données sont « bien contrôlés »,

- enfin, il existe la possibilité de considérer l'hétérogénéité des ressources naturelles ainsi que les différences dans la disponibilité de ressources selon le type d'agriculteur et son aversion au risque.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOUSSARD J.-M. (1982). — **L'élasticité de l'offre des produits agricoles par rapport aux prix**. Paris, INRA-ESR.

BOUSSARD J.-M. (1987). — **Economie de l'agriculture**. Paris, Economica.

BOUSSARD J.-M. (1987 b). — Communication personnelle.

BOUSSARD J.-M. (1988). — **On Agricultural Production Functions**. Communication présentée à la Réunion de l'Association Européenne des Economistes Agricoles, Bonn, Avril 13-14.

BOUSSARD J.-M., JACQUET F. et FLICHMAN G. (1987). — **Projet Les comparaisons internationales d'efficacité en agriculture**. Convention d'étude CIHEAM-Ministère de l'Agriculture-CNRS-Commissariat Générale au Plan-INRA.

CAVALLO D. et MUNDLAK Y. (1982). — **Agriculture and Economic Growth in an open economy : The case of Argentina**. **Research Report** n° 36. Washington D. C., International Food Policy Research Institute.

CHENERY H. B. (1949). — **Engineering Production Function**. In **Quarterly Journal of Economics**, 63, pp. 507-531.

EKBOIR J. (1987). — Communication personnelle.

FAUDRY D. (1974). — **Difficultés d'estimation de la fonction de production micro-économique en agriculture**. In **Economies et Sociétés**, vol. 8, n° 5, pp. 701-743.

FLICHMAN G. (1988). — **International comparisons of efficiency in agricultural production**. Communication présentée à la Réunion : **The International Comparisons of Agricultural Production Costs : the Competitiveness of Developing Country Producers**. Paris, O.E.C.D. Development Centre.

GRILICHES Z. et RINGSTAD V. (1971). — **Economics of Scale and the form of the Production Function : an Econometric Study of Norwegian Manufacturing Establishment Data**. Amsterdam, North Holland.

HAYAMI Y. et RUTTAN V. (1971). — **Agricultural development : an international perspective**. Baltimore, John Hopkins University Press.

HILDENBRAND W. (1981). — **Short-Run Production Functions based on Microdata**. In **Econometrica**, vol. 49, n° 5, pp. 1095-1125.

JACQUET F. et FLICHMAN G. (1988). — **Intensification et efficacité en agriculture**. In **Economie Rurale**, n° 183, pp. 49-54.

JONES A. (1988). — **TAS NOTES**. Temple, Texas Agricultural Experiment Station.

JUST R. E. et POPE R. D. (1979). — **Production function estimation and related risk considerations**. In **American Journal of Agricultural Economics**, vol. 61, pp. 276-284.

LEVHARI D. et SHESHINSKI E. (1970). — **A microeconomic production function**. In **Econometrica**, vol. 38, n° 3, pp. 559-573.

LOWENBERG-DeBOER J. et CHERNEY J. H. (1987). — **Biophysical Simulation for Evaluating New Crops : The Case of Switchgrass for Biomass Energy Feedstock**. West Lafayette (Indiana), Agricultural Experiment Station, Purdue University. mimeogr.

MONZA A. (1971). — **La validez teorica de la idea de funcion de produccion agregada**. In Braun, O. éd. **Teoria del capital y la distribucion**. Buenos Aires, Editorial Tiempo Contemporaneo, 1973.

PUTMAN J. et DYKE P. (1987). — **The Erosion-Productivity Impact Calculator as formulated for the Resource Conservation Act Appraisal**. New York, U.S. Department of Agriculture, Natural Resource Economics Division, Economic Research Service.

ROBINSON J. (1953-54). — **The Production Function and the Theory of Capital**. In Basil Blackwell éd. **Collected Economics Papers**, vol. II, 1960.

SOLOW R. M. (1967). — **Some Recent Developments in the Theory of Production**. pp. 25-49. In Murray Brown éd. **Theory and Empirical Analysis of Production**. New York, National Bureau of Economic Research.

VICIEN C. (1989). — **Les modèles de simulation comme outil pour la construction de fonctions de production : une application à la mesure de l'efficacité de la production agricole**. **Série Thèses et Masters** n° 6. Montpellier, Institut Agronomique Méditerranéen.

WILLIAMS J. R., JONES C. A. et DYKE P. T. (1988). — **EPIC, The Erosion-Productivity Impact Calculator, Volume II (User Manual)**. Temple, Texas Agricultural Experiment Station - Texas A & M University.