



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

Les substitutions  
entre les céréales et  
les autres concentrés  
en alimentation animale

Une application à des élevages laitiers

*J.-C. BUREAU*  
*M. DANECHVAR-KAKHKI*

Les modèles du secteur agricole sont de plus en plus indispensables pour simuler des effets de variation des prix, des taxations, des subventions, qui sont autant de leviers pour orienter l'évolution de l'agriculture européenne. Pour que ces modèles fonctionnent correctement, il est nécessaire de disposer d'élasticités fiables qui mesurent la réponse, en terme de quantités de biens achetés ou vendus, à des variations de prix. La façon dont évolue la demande de céréales de la part du secteur de l'alimentation animale lorsque les prix varient, par exemple, intervient de façon cruciale dans l'évaluation des coûts et avantages de telle ou telle mesure de politique céréalière. Ces élasticités sont généralement estimées sur l'ensemble de la branche, sur des séries annuelles.

Nous avons tenté ici une approche très micro-économique de ces élasticités afin d'avoir un ordre de grandeur des variations de la demande d'aliments concentrés<sup>(1)</sup> dans l'élevage laitier. Cette approche est très partielle, ne serait-ce que par le faible échantillon d'entreprises considéré. Mais elle présente l'avantage de pouvoir prendre en compte des intrants tels les céréales intraconsommées, pour lesquelles il est ordinairement difficile de disposer de données fiables, et également de désagréger les aliments très finement en fonction de leur composition. Les élasticités et les courbes de réponses ainsi estimées permettent une analyse plus fine des substitutions et des réponses aux prix que ne le permettent des statistiques à un niveau plus général.

Si l'objectif premier de ce travail est de quantifier les réponses, en terme de demande de concentrés, de producteurs laitiers face à quelques variations du prix des aliments, il sera l'occasion de comparer plusieurs méthodes<sup>(2)</sup>. Une particularité de ce travail est de pouvoir disposer de données permettant la prise en compte de certaines contraintes techniques au niveau individuel (quota, rendements, contrainte de surface, etc.) indispensables à des modélisations non économétriques.

En effet, on s'interroge actuellement sur les avantages et inconvénients des diverses méthodes pour représenter le secteur agricole. Certains pensent que des modèles reposant sur des approches économétriques, qui exploitent donc la variabilité statistique des échantillons, sont préférables à des modèles où interviennent explicitement des contraintes et informations techniques. A l'inverse, les modèles s'inspirant de la recherche opérationnelle, et en particulier des méthodes de programmation linéaire, ont leurs farouches partisans. Dans ces derniers modèles, on cherche à réaliser un objectif compte tenu de contraintes quant à la disponibilité des

(1) Dans les concentrés, on considère les différents tourteaux, céréales et aliments composés (pour vaches laitières) achetés, mais aussi les céréales produites à la ferme et destinées à l'alimentation du bétail. Dans la suite du texte, nous définirons comme "intraconsommation", le volume de céréales produites et utilisées par l'exploitant lui-même sur son lieu de production à des fins uniquement d'alimentation du bétail (semences et consommation humaine exclues).

(2) Ce travail n'aurait pas été possible sans l'aide de G. Baud, du CEMAGREF de Riom, ni celle de nos collègues V. Réquillart, P.A. Jayet et P. Leroy de l'INRA de Grignon, que nous remercions ici ainsi que deux lecteurs anonymes.

facteurs de production ainsi que des coefficients technico-économiques. Ils ont été largement employés en agriculture avec grand succès (cf. Boussard et Daudin, 1987 pour une revue des qualités de cette méthode). Cette étude nous a donné l'occasion de juger très concrètement des avantages et inconvénients de ces deux approches, et nous présenterons ici des conclusions plus méthodologiques.

## LE PROBLÈME DES CÉRÉALES INTRA CONSOMMÉES

Dans la construction de systèmes de demande en alimentation animale, le problème de la prise en compte de ces céréales intraconsommées est particulièrement aigu. Ce poste est loin d'être négligeable, les céréales produites et consommées à la ferme représentant une part importante de la production nationale (environ 8,9 millions de tonnes, alors que les céréales destinées à l'alimentation animale commercialisées ne représentent que 7,4 millions de tonnes; calculs d'après données ONIC, SCEES pour 1986).

Cependant, cette utilisation échappant aux circuits commerciaux est mal connue, et l'évolution possible de ce débouché pour les céréales est jusqu'ici peu prise en compte dans les prévisions et simulations de politique agricole. Il est pourtant possible que, dans le cadre des mesures communautaires destinées à maîtriser les coûts budgétaires, à partir d'un certain niveau de baisse des prix des céréales, un nombre important de producteurs également éleveurs aient recours à l'intraconsommation. Une taxe de coresponsabilité ou une taxe consécutive à un dépassement des quantités de référence ont pour caractéristique de faire baisser le prix au producteur sans le faire baisser au consommateur, introduisant ainsi un différentiel entre le prix d'un aliment acheté et celui d'un aliment auto-produit. Dans de tels cas, de même que dans l'hypothèse d'un contingentement de l'offre de céréales du type quota, il n'est pas exclu que leur valorisation sur place par une transformation animale apparaisse comme un recours. Pour pouvoir apprécier l'ampleur de tels effets, il faut calculer des élasticités spécifiques pour le bien particulier "céréales intraconsommées", qu'il n'est pas possible d'agréger aux céréales achetées du fait de conséquences spécifiques des mesures de politique agricole sur ce poste.

Il faut cependant être conscient que les différents mécanismes justifiant le recours à l'intraconsommation sont relativement complexes: interviennent les prix relatifs des aliments, le coût d'opportunité d'un hectare supplémentaire de céréales, le prix de vente de cette céréale, mais aussi le niveau de marge brute des cultures de vente alternatives et les rendements de l'ensemble des productions.

Pour illustrer le danger à considérer de manière simpliste des substitutions entre achat de céréales et recours à l'intraconsommation dans des simulations économiques, prenons un exemple schématique. Soit un

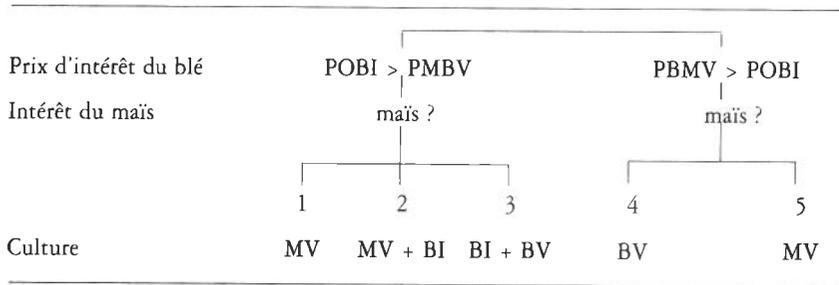
polyculteur-éleveur ajustant sa demande d'intrants en fonction des prix relatifs, et produisant une culture de vente unique, disons le maïs et une culture intraconsommable qu'il peut également vendre, disons le blé. On constate, en utilisant par exemple une représentation sous la forme d'un petit programme linéaire, qu'à un premier niveau de décision se détermine le prix d'intérêt de la céréale intraconsommée.

Ce prix d'intérêt sera le prix d'opportunité du blé, si la valorisation à travers la transformation animale est plus rentable que la vente du blé en l'état. Ce prix sera fonction du prix de marché des aliments achetés que l'intraconsommation permet d'économiser et des rendements (en blé et animaux). Il dépendra également du prix de la terre et de l'ensemble des facteurs entrant dans le coût de production du blé, et du quota laitier qui a pour conséquence de faire baisser le coût d'opportunité des facteurs fixes.

Si ce prix d'opportunité du blé est inférieur au prix de marché, le prix d'intérêt sera ce dernier : il sera dans tous les cas plus profitable de vendre le blé que de l'"intraconsommer", et le seul arbitrage qu'aura à faire l'agriculteur sera fonction des marges brutes relatives du blé et du maïs pour décider ses assolements (situation 4 et 5, figure 1). Si le prix d'opportunité du blé est supérieur au prix de vente, la valorisation par l'intraconsommation sera préférable, dans les limites des possibilités de substitution au concentré acheté. On se trouve alors devant une alternative qui est fonction de l'intérêt relatif du maïs par rapport au blé.

A un autre niveau de décision apparaît l'intérêt de produire seulement du maïs, du blé intraconsommé et du maïs, ou encore du blé seul dont une partie serait intraconsommée, en fonction de la marge relative du maïs par rapport au prix d'opportunité du blé intraconsommé et vendu (alternatives 1,2 et 3).

Figure 1.  
Itinéraires de  
production possibles



POBI : prix d'opportunité du blé intraconsommé (BI)

PMBV : prix de marché du blé vendu (BV) ; MV : maïs vendu

Si le prix et les rendements du maïs-grain autorisent une valorisation de la terre supérieure à ce que rapporte un hectare de céréales valorisé par la production animale, il y aura intérêt à l'achat des aliments concentrés plutôt qu'à leur production. Le maïs sera donc seul produit (solution 1). Il y aura production de blé à des fins d'alimentation animale dans le cas contraire, dans la limite de ce débouché (solution 2), à condition toutefois qu'il soit plus économique d'intraconsommer la céréale, plutôt que de la vendre et acheter des aliments d'origine industrielle. Enfin, bien que le

prix d'opportunité du blé intraconsommé soit supérieur au prix de marché, si la vente du blé permet une marge supérieure à celle du maïs, seul le blé sera produit, pour une part intraconsommé, pour une autre vendu.

Pour situer la difficulté de prendre en compte cette rationalité complexe dans des simulations macro-économiques reposant sur des modèles plus globaux, notons qu'une variation des prix de marché du blé n'aura un effet sur l'intraconsommation que dans le cas 4 (où une baisse du prix du blé pourra entraîner une hausse des quantités intraconsommées) si elle est suffisante pour que le prix d'intérêt devienne le coût d'opportunité et, dans les cas 2 et 3, si une hausse est suffisante pour que le prix de marché devienne le prix d'intérêt. De la même façon, une hausse des prix du maïs ne pourra influencer sur les quantités de blé intraconsommées que dans les cas 2, 3 et 4, mais sera sans effet pour une entreprise dans une situation différente.

Ce mécanisme, simplifié ici d'une façon caricaturale, dépend en réalité de nombre de paramètres. Outre ceux cités, rentrent en ligne de compte les différentes alternatives comme culture de vente, celle-ci n'étant pas limitée au seul maïs. Par ailleurs, le prix d'opportunité du blé ne dépend du coût des aliments concentrés achetés que pour des apports nutritionnels énergétiques et azotés équivalents. Il dépend donc de contraintes techniques, qui, pour les bovins en tout cas, sont entre autres, fonction des cultures fourragères et des dates de récolte : des systèmes fourragers à base d'ensilage de maïs seront sans doute davantage déficients en azote que des ensilages ou pâtures d'herbe de premier cycle avant l'épiaison, et nécessiteront l'achat de concentrés riches en protéines, auxquels les céréales ne peuvent se substituer, ce qui abaissera d'autant le prix d'opportunité de l'intraconsommation.

## UN MODÈLE D'ACTIVITÉ

### *Le rôle majeur accordé aux prix*

En alimentation animale, la recherche d'une "ration équilibrée" présentée dans les manuels de zootechnie<sup>(3)</sup> ne doit pas faire croire à la nécessité d'un apport énergétique et azoté parfaitement défini, et ne

<sup>(3)</sup> Rappelons quelques notions très élémentaires. Pour produire du lait, il est en gros nécessaire de couvrir deux types de besoins des animaux, en protéines et en énergie, même si des carences en autres facteurs tels certains acides aminés, oligo-éléments et vitamines doivent être évitées. La ration de base (les fourrages) n'est pas toujours équilibrée, ce qui signifie que la production est limitée par l'un de ces deux facteurs alors que l'autre est en excès. La distribution d'alimentation concentrée permet de rééquilibrer la ration en apportant un supplément, soit d'énergie, soit de protéines. Une complémentation, équilibrée cette fois, peut également être utilisée pour accroître la production laitière, la consommation de fourrage étant limitée par la capacité d'ingestion des animaux. Parmi les aliments concentrés, les céréales apportent essentiellement de l'énergie, et peu de protéines. Les tourteaux apportent autant d'énergie que les céréales mais sont extrêmement riches en protéines. Une large gamme de produits intermédiaires existe et l'on peut acheter des aliments composés.

signifie pas que les différents aliments soient complémentaires. Dans la limite des impératifs strictement techniques (couverture des besoins en nutriments), les substitutions sont largement déterminées par des facteurs économiques : si les prix relatifs des tourteaux étaient très bas, nul doute, par exemple, que les éleveurs assureraient la couverture des besoins énergétiques avec cette matière première, malgré l'excédent protéique de la ration<sup>(4)</sup>. On s'intéressera donc ici aux déterminants économiques des substitutions entre divers types d'aliments, et par là aux variations de la demande en fonction des prix des matières premières.

Le principe général qui a été posé est celui de la maximisation d'un objectif économique par l'agriculteur dans un cadre de court terme. Si des facteurs ont été supposés fixes, le producteur a, lui, toute liberté de faire varier la combinaison d'intrants variables : il est en particulier supposé ajuster sa demande de différents aliments de manière à tenir compte au mieux des variations de prix, pourvu que des contraintes zootechniques soient satisfaites. Ceci paraît très conforme au calcul de ration réalisé régulièrement par les éleveurs, en particulier ceux adhérant au contrôle laitier. Le producteur est également libre de choisir entre différentes cultures en fonction du prix de vente de celles-ci.

A partir de ce modèle de base, qui nous donne une "solution centrale", nous avons alors fait varier les prix des aliments et les prix de vente des produits, et simulé un grand nombre de situations pour voir dans quelles mesure varie la demande d'aliments concentrés.

### *Les données*

Le principal problème posé est celui des données. Face à l'insuffisante décontraction des postes comptables du RICA (Réseau d'Information Comptable Agricole), nous avons utilisé des données portant sur l'élevage laitier, celles des "sondes technico-économiques" du RICA qui offrent une information poussée sur les entreprises, et les systèmes d'alimentation des animaux. L'échantillon est décrit dans l'annexe 1. Il est évident que, tant par l'effectif de la sonde que par la localisation géographique (Bretagne) et le mode de sondage (participation volontaire), les résultats sont tout à fait particuliers à l'échantillon en question et ne résisteraient pas à une tentative d'extrapolation à une population plus générale.

<sup>(4)</sup> Des zootechniciens pourront objecter qu'il existe des contraintes dont nous ferons abstraction ici, tels des impératifs de digestibilité ou de teneur en cellulose. Ces obstacles techniques ne nous semblent cependant pas extrêmement importants, et l'on se tiendra à des contraintes simples. Dans le modèle qui va suivre n'interviennent que des contraintes sur les différentes formes de protéines, les unités fourragères et la capacité d'ingestion des fourrages.

### *Description du modèle*

Le modèle technico-économique a été construit pour représenter le fonctionnement de 29 types d'entreprises laitières bretonnes qui sont, à quelques modifications près, celles de l'échantillon de la sonde RICA. Nous nous sommes attachés à simplifier le modèle et à ce que l'algorithme n'optimise qu'au niveau du choix entre les concentrés, de manière à pouvoir agréger simplement les différentes entreprises et effectuer des paramétrages sur les prix sans avoir des coûts et des temps de calcul prohibitifs. Cela ne signifie pas pour autant que la construction de la matrice zootechnique soit simpliste, mais une partie du travail sur les contraintes techniques a été menée à l'amont du modèle tel qu'il est posé pour l'optimisation.

Grâce aux dotations de facteurs de production et des différents critères techniques tirés de la sonde du RICA, il a été possible de partir du détail des cultures fourragères (variété, mode de coupe, rendements, etc.) et des besoins des vaches compte tenu de leur niveau de production et de leur mode d'alimentation (besoins énergétiques spécifiques au pâturage, etc.), pour estimer les besoins en nutriments à couvrir. Pour les aliments composés, une décontraction fine est nécessaire, en particulier selon la teneur azotée. En effet, techniquement, un aliment composé à forte teneur en protéines pourra être substitué à un tourteau, ce qui n'est pas le cas d'un aliment à faible teneur énergétique : par une trop grande agrégation, on risque de raisonner sur des inputs qui sont un mélange de biens substituables et complémentaires à d'autres facteurs, et ainsi d'obtenir des réponses aux variations de prix qui sont sans signification. Cinq types d'aliments composés pour vaches laitières ont ici été pris en compte, en plus de la possibilité de recourir simultanément à plusieurs aliments simples. Il a été accordé un soin particulier à la valorisation du kilo marginal de concentré, qui diffère selon le niveau de production, et aux capacités d'ingestion. Pour certains facteurs qui n'étaient pas observés dans la sonde (des rendements fourragers, en particulier), ainsi que pour un grand nombre de paramètres techniques, nous avons eu recours à la base de données du modèle PLERIN (Cordonnier *et al.*, 1983, 1986). Ce modèle, qui simule l'alimentation et la conduite d'un troupeau laitier dans les Côtes-du-Nord, est extrêmement riche en informations technico-économiques. La base de données qui l'alimente, unique en France en ce domaine, est le fruit d'une longue et étroite collaboration entre l'INRA et un groupe d'éleveurs.

L'agrégation des modèles correspondant à des types d'entreprises différents, a été réalisée au sein d'une même matrice, en faisant porter l'optimisation sur une fonction "objectif" globale. Les contraintes et activités des différentes entreprises types étant indépendantes, le problème est similaire à l'optimisation de chacune des fonctions objectif séparément. L'avantage est de pouvoir établir des bilans globaux sur les résultats et d'avoir ainsi une agrégation directe, ainsi que de pouvoir "paramétrer" uniformément les prix pour toutes les entreprises, même si, individuelle-

ment, les valeurs de départ sont différentes. On a en effet utilisé des valeurs observées pour les prix, les chargements, les quotas laitiers. Seuls les prix des aliments concentrés composés introduits sont des prix moyens pratiqués dans les Côtes-du-Nord (*source*: Cordonnier *et al.*, 1986). Lorsque l'agriculteur n'achète pas de céréales pour l'alimentation, le prix moyen sur le département a été introduit. Une culture de vente alternative unique a été autorisée – il s'agit arbitrairement du maïs-grain – pour laquelle nous avons reconstitué un rendement en fonction des rendements céréaliers observés sur la sonde, et pour lequel nous avons introduit des niveaux de charge variables correspondants (*source*: centres de gestion) lorsque cette culture était absente. Le quota laitier auquel est soumis l'agriculteur a été introduit comme contrainte. On s'aperçoit d'ailleurs qu'il permet de simplifier considérablement le modèle car il rend caduques un grand nombre de contraintes qui n'apparaissent pas actives, l'imposition d'un rendement laitier et d'un quota imposant implicitement un nombre de vaches maximum, par exemple, sans qu'interviennent des contraintes de main-d'œuvre.

La fonction objectif est la maximisation de la marge brute. Ne peut être remis en cause, de la façon dont est formulé le problème, le niveau d'intensité des cultures fourragères (le chargement), ni le rendement laitier des vaches. Mais l'agriculteur peut, dans la limite supérieure du quota, augmenter ou diminuer les surfaces fourragères et le nombre de vaches. Dans la limite technique qui impose que les apports de concentrés satisfassent les besoins en nutriments non couverts par la ration de base, une totale liberté est laissée, entre achat de tourteau, achat de céréales, intraconsommation de céréales, achat de cinq types d'aliments composés pour les vaches laitières (comprenant entre 18 et 36% de protéines). Enfin, l'agriculteur a libre choix de vendre ou d'intraconsommer les céréales.

### *Les imperfections du modèle*

Malgré les précautions prises, le modèle que nous avons utilisé a deux grandes faiblesses. La première vient de la nécessité de "raisonner" les apports de la ration de base au niveau annuel. Même si, pour ce faire, nous avons "calé" les apports sur les bilans fourragers annuels du modèle PLERIN (dans lequel l'alimentation fourragère est détaillée par quinzaine), de manière à tenir compte des quantités ingérées, très variables selon le stade de coupe des fourrages, le taux ligneux, glucidique et protéique de ceux-ci, il est certain que les chiffres obtenus peuvent être différents de la situation réelle de l'entreprise, à cause de l'approximation annuelle.

L'autre faiblesse est bien entendu la taille réduite du modèle qui n'autorise pas à tenir compte de la totalité des contraintes auxquelles doit faire face l'agriculteur.

### *Paramétrisation*

Ce modèle a été utilisé pour simuler les effets de quelques situations possibles. A titre d'exercice, les variations de prix ont été poussées bien au-delà de ce qui est sans doute envisageable politiquement.

Les estimations ont été réalisées, dans un premier temps, sans indexer le prix des aliments concentrés composés pour vaches laitières d'origine industrielle sur le prix des matières premières (céréales et tourteaux). Ensuite, cette indexation a été réalisée en couplant le modèle avec les résultats d'un modèle de formulation des aliments composés tel qu'en possèdent les industriels de l'alimentation animale. Celui-ci a permis d'obtenir, pour une gamme d'aliments concentrés, la teneur en matière première lorsque les prix varient. Nous avons supposé qu'une baisse des prix des céréales se répercutait sur le prix des aliments composés, mais non une hausse, les industriels pouvant remplacer les céréales par des substituts meilleur marché. La même démarche a été menée pour les tourteaux, mais ici les hausses des prix ont été également repercutées.

A partir de là, on fait varier les prix des céréales, des tourteaux, des aliments composés seuls à volonté. Nous avons effectué un balayage<sup>(5)</sup> qui donne pour résultat non pas des élasticités, mais des courbes de réponses, plus ou moins discontinues selon les cas. Il est certain que si l'on avait travaillé avec un nombre plus élevé de types d'entreprises, les courbes auraient été davantage "lissées". Elles sont présentées ici en trois dimensions afin de voir les conséquences simultanées de la variation du prix de deux produits.

Nous ne présenterons dans le texte que les résultats avec les prix des aliments composés indexés.

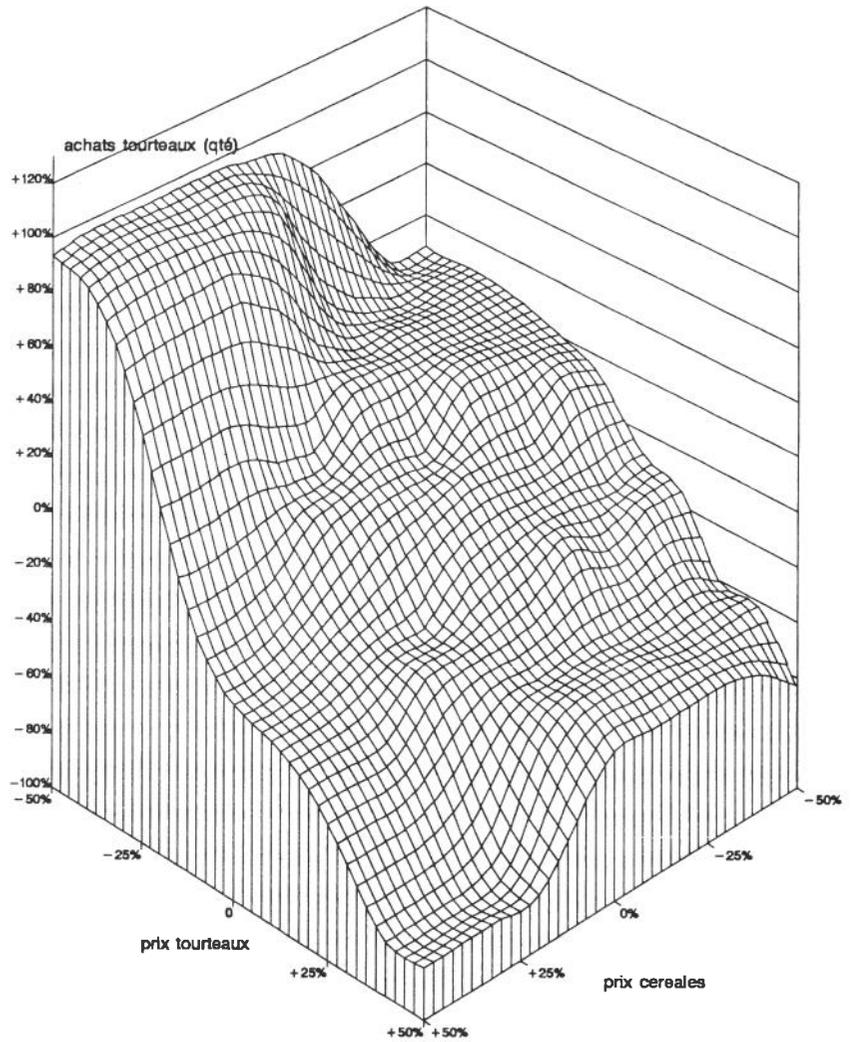
<sup>(5)</sup> Dans le problème traité, les outils que nous avons utilisés donnent un exemple de l'automatisation de l'ensemble des traitements aujourd'hui possibles, qui réduit ainsi le principal obstacle à l'emploi de cette méthode, à savoir la lourdeur de sa mise en œuvre. Nous avons utilisé comme générateur de matrice Mgg, "interfacé" avec la base de données par le logiciel Turbo (développé par l'INRA, écrit par P. Leroy). L'optimisation a été réalisée grâce à Sciconic. La paramétrisation des prix a été automatisée grâce au logiciel Plut (développé par l'INRA, écrit par P.A. Jayet) qui contient une interface avec le logiciel de traitements graphiques Gpgs) et a permis la représentation des surfaces et des courbes. Mgg comme Plut font appel automatiquement à Sciconic au sein des deux environnements Plut et Turbo développés à l'INRA. Sciconic et Mgg sont des logiciels de la société Scicon. Gpgs est un logiciel de la société Tapir. Les graphiques du texte ont été créés par le logiciel Sas (SAS Institute). Les estimations économétriques ont été menées avec Soritec (Sté Sorites Group Inc.).

## SIMULATIONS GRÂCE AU MODÈLE DE PROGRAMMATION LINÉAIRE

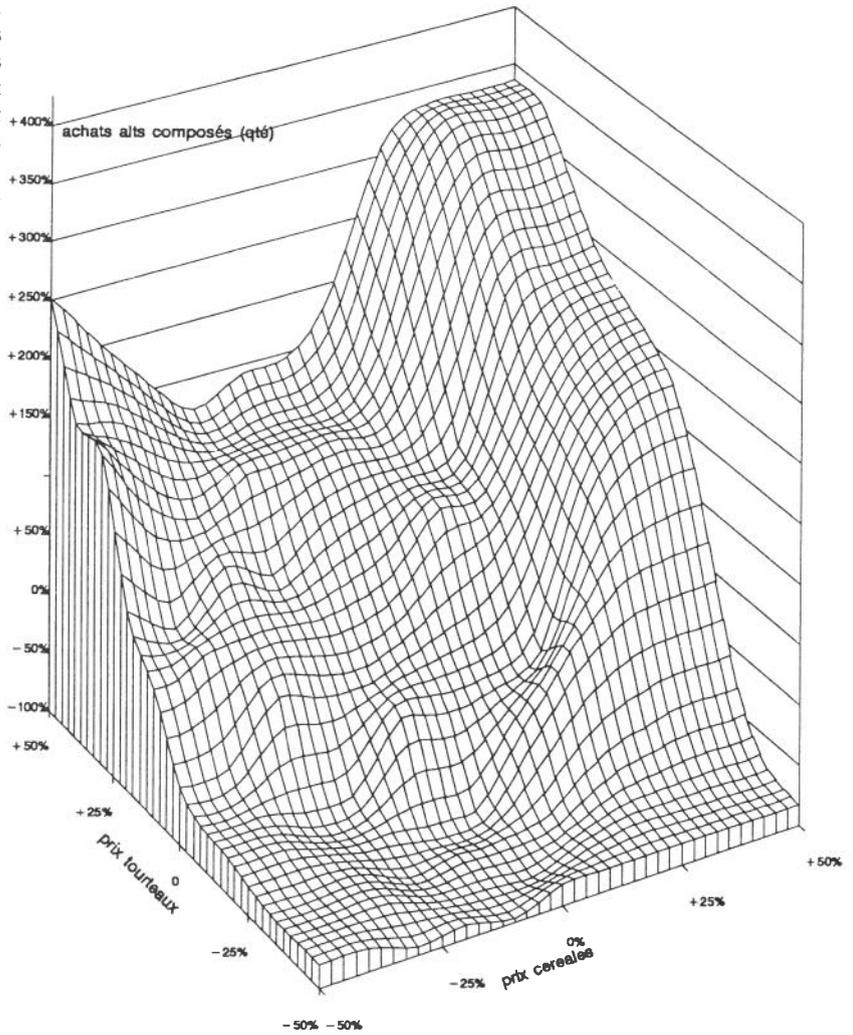
### *Variation du prix des céréales vendues comme achetées*

Dans ce scénario, on suppose que le prix des céréales (intraconsommables) achetées et celui des céréales vendues varient de la même façon, à la suite de mesures de politique économique visant à faire baisser les prix d'intervention, par exemple. La paramétrisation des prix des tourteaux et des céréales donne les résultats suivants, représentés dans les graphiques 1 à 4.

Graphique 1.  
Variation des achats de  
tourteaux en fonction  
du prix des tourteaux et  
des céréales  
(variations en % par  
rapport à la situation  
actuelle)



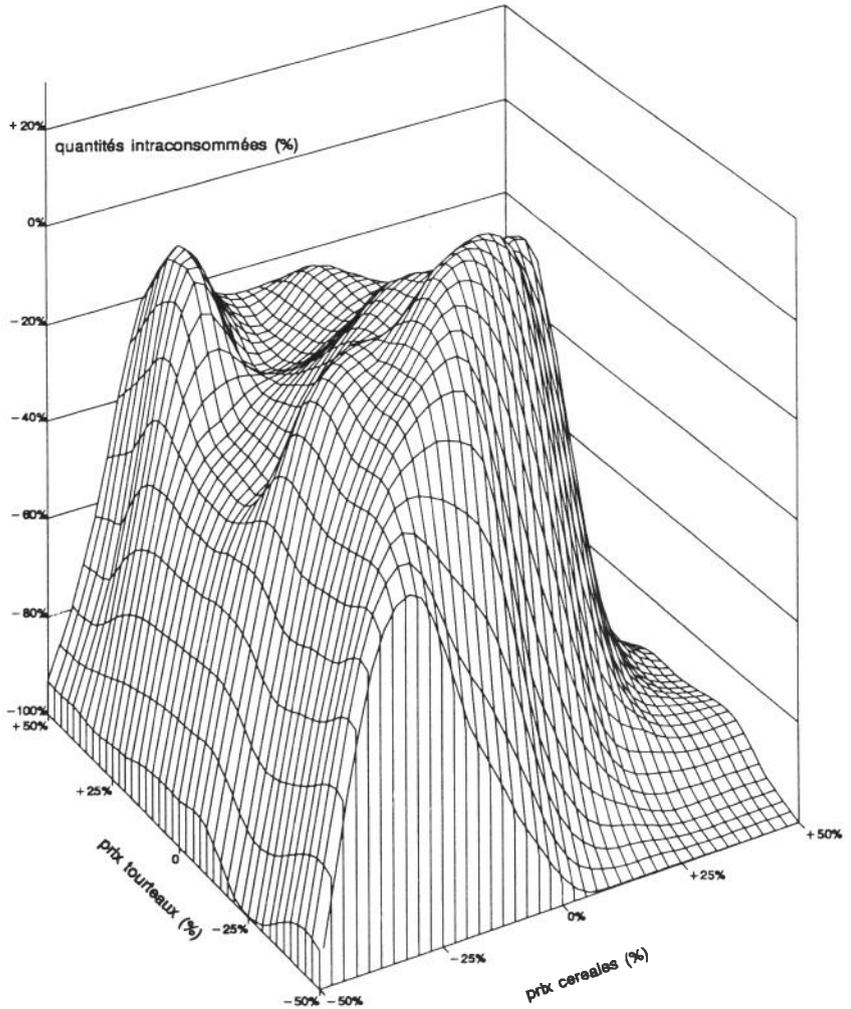
Graphique 2.  
Variation des achats  
d'aliments composés  
en fonction du prix  
des tourteaux et  
des céréales  
(variations en %  
par rapport à  
la situation actuelle)



*L'impact du prix des céréales*

Une hausse du prix des céréales (à prix des tourteaux constants et prix des aliments composés achetés indexés à la baisse seulement) aura pour effet d'augmenter le volume des céréales vendues, et de diminuer considérablement celui de céréales achetées (une hausse de 30% ramène les achats à zéro) et intraconsommées: les éleveurs préféreront vendre leurs grains et acheter des aliments composés, le prix de ceux-ci n'ayant pas varié à cause des produits de substitution. Ainsi, une hausse de 10% du prix des céréales vendues et achetées aura pour effet de diminuer d'environ 3% la consommation de céréales produites à la ferme et d'augmenter de 14% les achats d'aliments, il est vrai initialement très faibles. Les

Graphique 3.  
Variation de  
l'intraconsommation  
en fonction du prix  
des tourteaux et  
des céréales  
(variations en %  
par rapport à  
la situation actuelle)



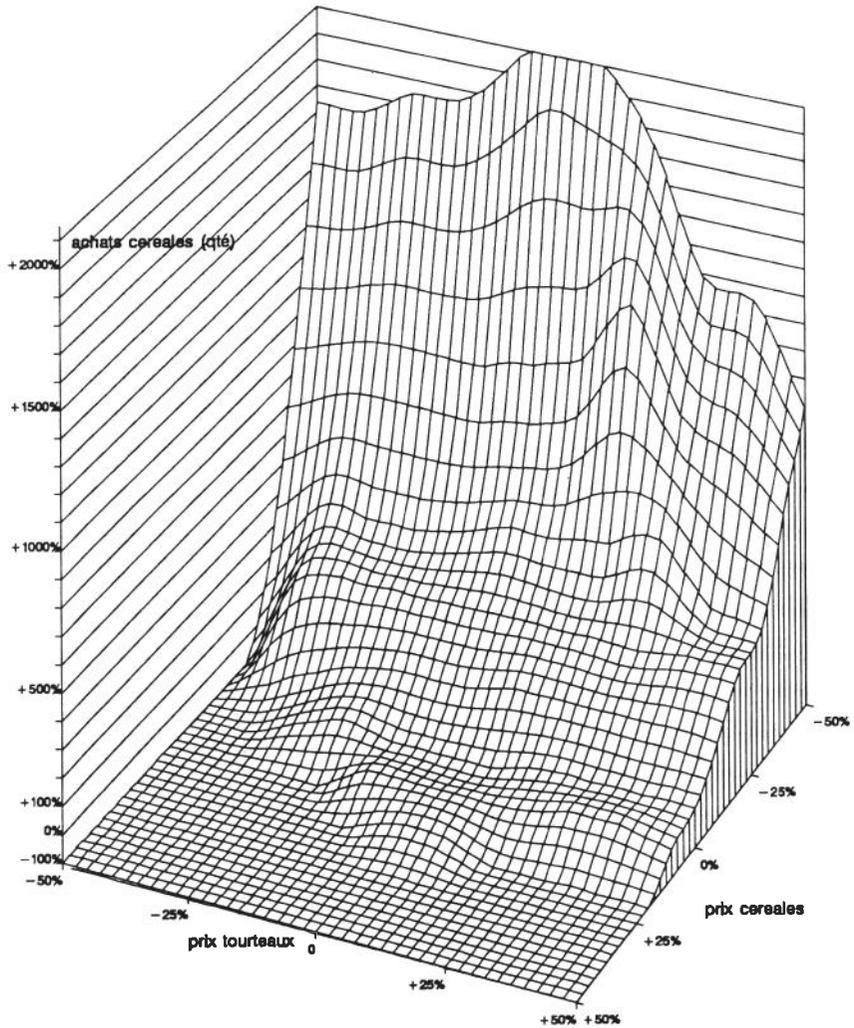
tourteaux apparaissent complémentaires des céréales puisque, dans le même temps, leurs achats diminuent de 4 %. Au delà d'un certain niveau, l'ensemble des éleveurs opte pour cette solution, puisqu'une hausse de 30 % du prix des céréales entraîne une diminution de 53 % des quantités intraconsommées et plus qu'un doublement des achats d'aliments composés. Il va de soi que ces chiffres sont à prendre avec réserve, de telles variations de prix étant susceptibles de produire des changements très profonds dans l'entreprise et le modèle n'a plus qu'une faible capacité à représenter la réalité. Néanmoins, ceci montre le danger qu'il y a à extrapoler des estimations locales d'élasticités à des variations non marginales ; les conséquences d'une modification de prix en deux points éloignés l'un

de l'autre sont très différentes, et peuvent devenir subitement très brusques.

On remarque qu'une hausse de 50% du prix des céréales ne se traduit que par un accroissement des ventes de 20% : ceci est dû à la spécificité des entreprises considérées ici, qui sont spécialisées en lait. Les contraintes de surface et les rendements céréaliers sont tels que l'entreprise ne modifie pas fondamentalement son orientation laitière.

A des prix de tourteaux constants, une baisse des prix des céréales se traduira par une baisse des quantités intraconsommées, puisque l'éleveur aura la tentation de produire des cultures alternatives plus rémunératrices pour valoriser sa terre, et d'acheter des céréales devenues peu coûteuses.

Graphique 4.  
Achats de céréales en  
fonction du prix  
des tourteaux et  
des céréales  
(variations en %  
par rapport à  
la situation actuelle)



Les achats d'aliments composés diminueront, au profit d'achats de céréales et de compléments en tourteaux. Une baisse de 10 % des prix des céréales aurait pour effet une baisse de 5 % sur les ventes, de 10 % sur l'intraconsommation et de 10 % sur les achats d'aliments composés au profit d'achat de céréales, les tourteaux augmentant eux de près de 5 %.

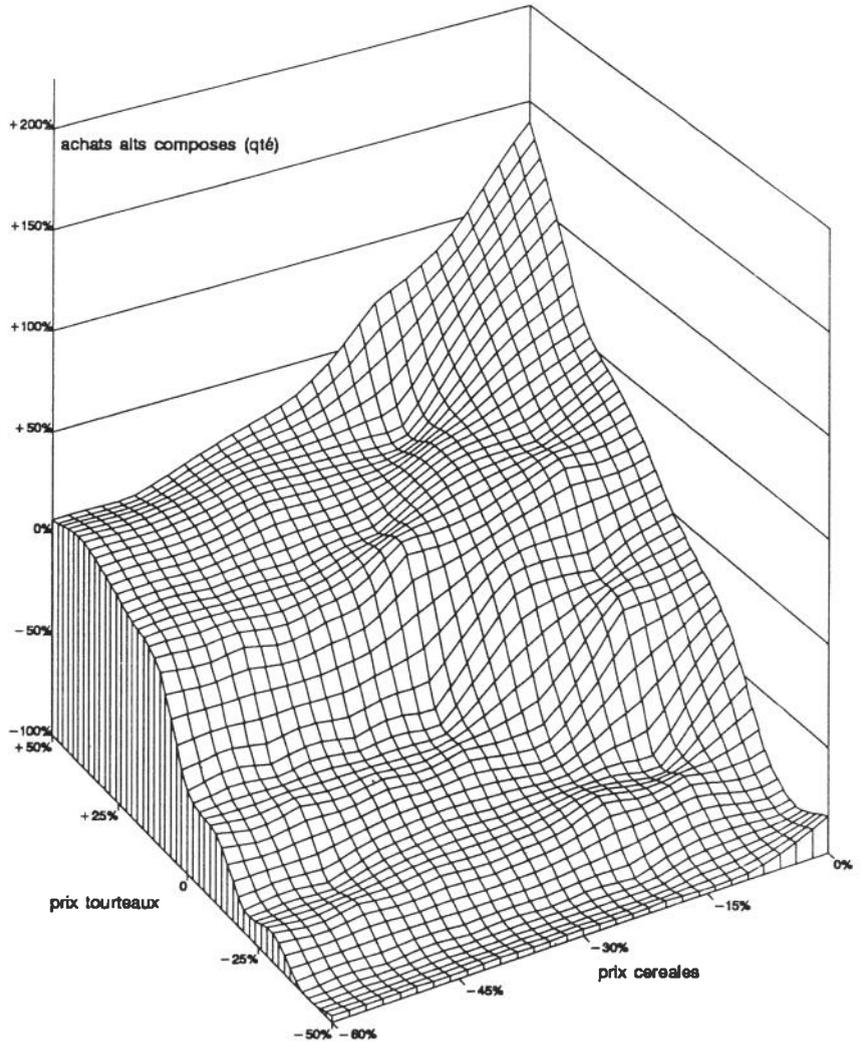
Ainsi, une variation, qu'elle soit à la baisse ou à la hausse, du prix des céréales ne permet pas d'augmenter les quantités intraconsommées: une hausse des prix réduit l'intraconsommation au profit de la vente de céréales et d'achats de concentrés composés, une baisse la réduit au profit d'achats de céréales. Nous verrons qu'il n'en est pas de même dans le cadre de variations des seuls prix de vente (taxe de coresponsabilité), et que l'impact du prix des tourteaux peut être plus important que celui des céréales sur les quantités intraconsommées.

### *Variation du prix des tourteaux*

L'élasticité-prix des tourteaux semble relativement faible, puisqu'une augmentation de leur prix de 50 % ne cause une baisse de la demande que de 45 % si le prix des céréales reste inchangé. Une augmentation des prix des tourteaux, à prix des céréales constants, a pour conséquence une diminution des quantités intraconsommées et des céréales achetées: face à l'augmentation des coûts de complémentation protéique, il devient plus intéressant d'utiliser des aliments composés équilibrés (avec le modèle de formulation, les repercussions des variations de prix des tourteaux ne sont pas intégralement transmises dans celui des aliments composés). Dans cette plage de variation des prix, les tourteaux et les céréales apparaissent donc complémentaires.

Le phénomène est quelque peu différent dans le cas d'une baisse des prix des tourteaux. D'une part, l'élasticité propre du tourteau à son prix paraît beaucoup plus élevée dans le sens de la baisse que de la hausse. Une baisse de 10 % entraîne une augmentation de la demande de 9 %, une baisse de 20 % une augmentation de la demande de 28 %. D'autre part, la complémentarité du tourteau et des céréales n'est vraie que pour certains niveaux de variations de prix. Une baisse modérée du prix des tourteaux semble l'élément le plus déterminant de l'accroissement de la demande de céréales par l'élevage, que ce soit par le biais de l'intraconsommation (10 % de baisse du prix des tourteaux entraînent une hausse de 6 %) ou par le biais des achats de céréales. Au-delà, la chute des quantités intraconsommées est spectaculairement brutale: l'explication en est que, lorsque les prix des tourteaux baissent de 30 %, ils deviennent très compétitifs par rapport aux céréales, même intraconsommées, pour apporter de l'énergie à la ration. L'éleveur a donc intérêt à utiliser cette source d'énergie bon marché (elle apporte de l'azote en excès, mais ce "gaspillage" est économiquement rentable).

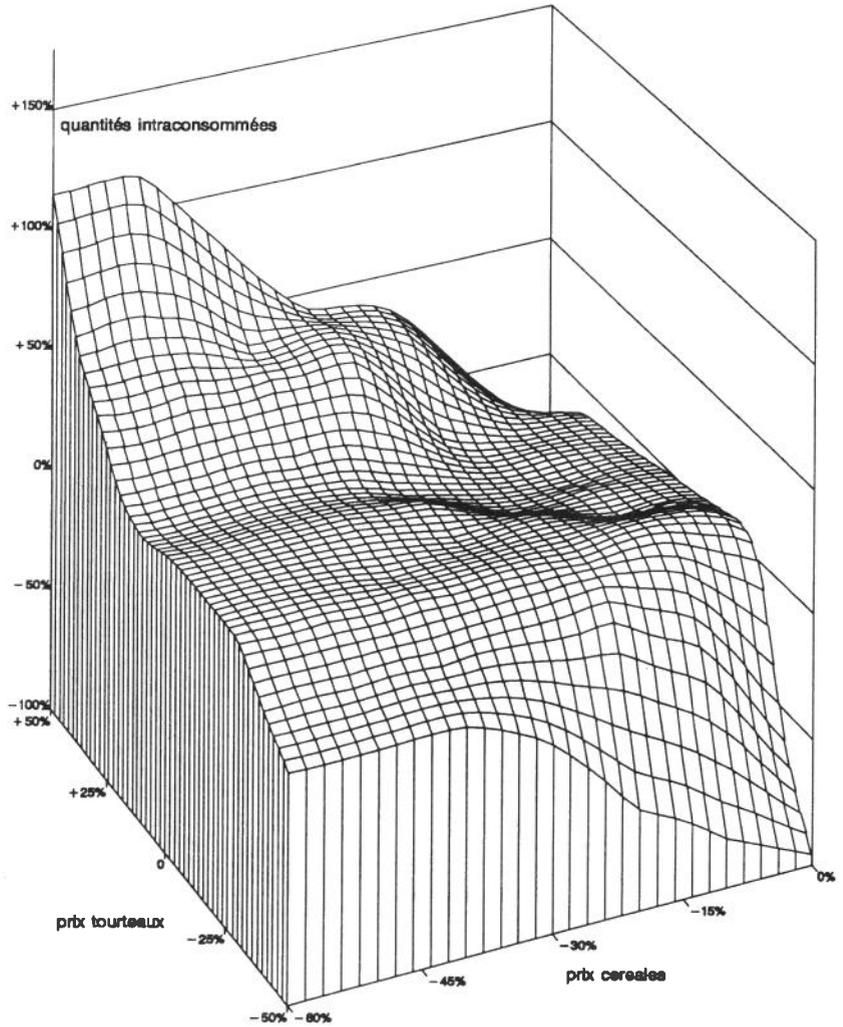
Graphique 5.  
Variation des achats de  
concentrés composés  
en fonction du prix  
des tourteaux  
et des céréales  
(variations en %  
par rapport à  
la situation actuelle)



On remarque donc que, aux environs du seuil de 30% de baisse de prix des tourteaux, ceux-ci deviennent subitement substituables aux céréales alors qu'auparavant ils étaient complémentaires : il est à craindre que les critères synthétiques figurant dans la plupart des modèles représentatifs du secteur agricole, telles les élasticités-prix croisées estimées localement, peuvent difficilement prendre en compte de tels phénomènes, même s'il est évident que les variations de prix simulées ici ne sont qu'un exercice gratuit.

Les achats d'aliments composés sont d'autant plus faibles que le prix des tourteaux est bas. Par contre, pour que ces achats soient très élevés, il faut, non seulement que le prix des tourteaux soit élevé, mais également

Graphique 6.  
Variation de  
l'intraconsommation  
en fonction du prix  
des tourteaux  
et des céréales  
(variations en %  
par rapport à  
la situation actuelle)



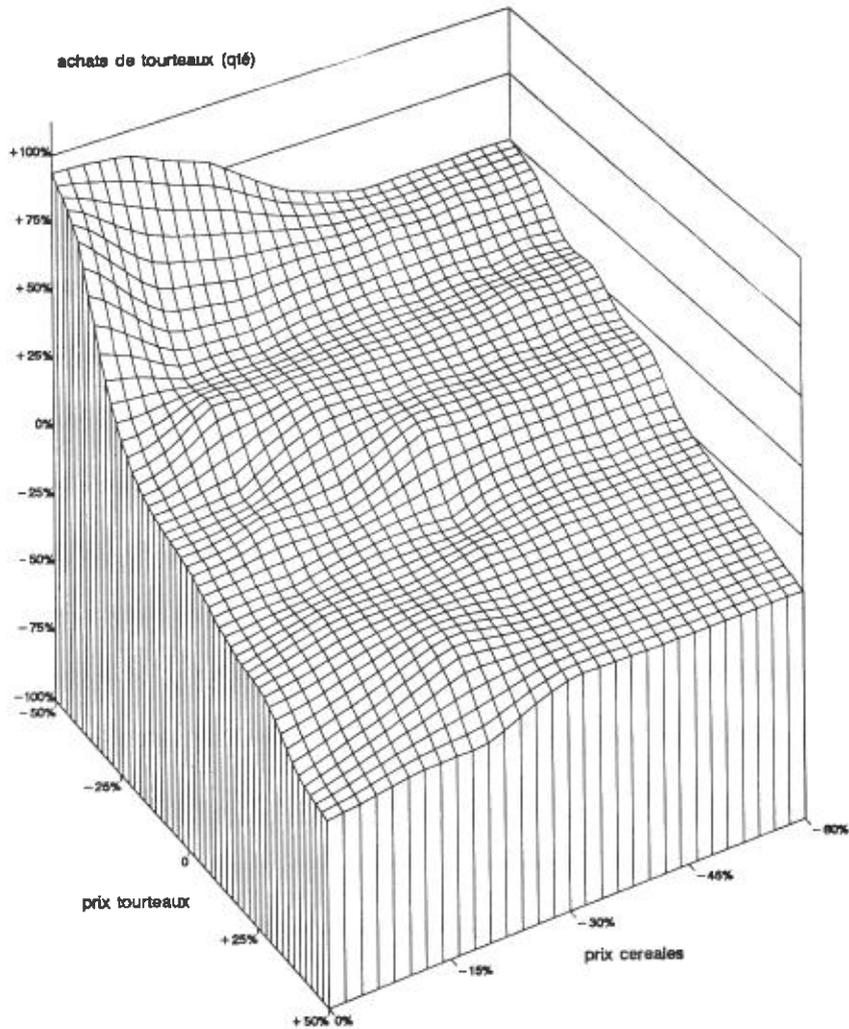
que les céréales soient chères (achat de composés à fort contenu en PSC), ou encore que celles-ci soient très bon marché (baisse significative du prix des aliments composés indexé sur celui des céréales.)

Les graphiques permettent donc de voir l'impact de variations simultanées des prix des céréales et des tourteaux. Il est possible également d'établir ces courbes de réponse pour d'autres variations, tels les achats d'aliments concentrés, par type d'aliment, pour les ventes des différentes cultures.

### *Les effets d'une taxe de coresponsabilité*

Les courbes de réponses sont présentées dans les graphiques 5 à 7. Une taxe de coresponsabilité aura pour effet de réduire le prix de vente des céréales, le prix des céréales et aliments achetés n'étant, lui, pas modifié. Il est prévisible que ceci pousserait certains éleveurs à valoriser leurs céréales à travers la transformation animale. D'autres, dont les marges sur le blé sont plus élevées, ne changeront sans doute pas leur type d'alimentation. Enfin, les agriculteurs ayant les plus médiocres rendements en blé risqueraient de se reporter vers des cultures de vente alternatives, mais ne modifieraient pas l'alimentation concentrée des animaux (sauf contrainte

Graphique 7.  
Variation des achats de  
tourteaux en fonction  
du prix des tourteaux et  
des céréales  
(variations en %  
par rapport à  
la situation actuelle)



de financement ou de liquidités consécutive à la baisse du prix du blé dont il n'a pas été tenu compte ici).

Si le prix des tourteaux reste inchangé, une taxe de coresponsabilité semble avoir des effets sur la substitution d'aliments composés au profit d'une formule tourteaux + intraconsommation. Avec une taxe de 35 %, l'augmentation des quantités intraconsommées atteint 16 %. Pour une taxe de 10 %, la demande d'aliments concentrés diminue de plus de 10 % et celle de tourteaux de 5 %, le complément étant apporté presque uniquement par l'intraconsommation.

Les achats de céréales ne sont pas fonction du prix de celles-ci (qui baisse uniquement à la vente). La baisse des quantités de céréales vendues est importante, 18 % de baisse pour une diminution du prix de 20 %, au profit de l'intraconsommation et des cultures alternatives.

Avec une taxe de coresponsabilité, on diminue fortement les achats de concentrés achetés au profit de céréales intraconsommées et de tourteaux. Néanmoins, l'argument des industriels de l'alimentation animale contre la taxe de coresponsabilité, qui diminuerait encore la demande d'aliments composés du fait de la non-baisse des prix des céréales aux industriels, n'apparaît pas clairement dans ces exploitations. L'explication en est que, dans le cas d'une baisse du prix d'achat des céréales, on diminue également les achats d'aliments composés au profit de céréales achetées et d'un complément en tourteau. Encore une fois, ceci est sans doute caractéristique des entreprises de l'échantillon (et du modèle), qui ont les capacités d'effectuer eux-mêmes leurs mélanges, et ne correspond pas nécessairement aux tendances macro-économiques. Il faudrait également tenir compte des effets d'une baisse des prix des céréales sur ceux des produits de substitution, qui ont été supposés invariants dans le modèle de formulation.

Enfin, notons que l'on observe également des substitutions entre les tourteaux (associés à des céréales intraconsommées) et les aliments concentrés composés, dès que les prix des tourteaux varient, entraînant des baisses d'achats des aliments composés supérieures à celles causées par des variations des prix des céréales.

## COMPARAISON AVEC DES APPROCHES ÉCONOMÉTRIQUES

L'enseignement majeur du modèle précédent est la forte variabilité des élasticités de substitution en fonction de la variation des prix : l'exemple des tourteaux, qui, à un certain niveau de prix, passent de complémentaires à substituables économiquement aux céréales, est caricatural : non seulement la valeur de l'élasticité se modifie, mais celle-ci change carrément de signe. On voit donc le risque qui existe à utiliser des matrices d'élasticités, établies pour un certain niveau de prix, dans des

modèles sectoriels. L'approche suivante nous montre ce que donne concrètement l'estimation d'élasticités à un point moyen.

### *Elasticités de substitution partielles à partir d'une fonction de coût*

Dans les approches économétriques, les contraintes techniques ne sont pas explicitement prises en compte, mais supposées "résumées" dans la variabilité de l'échantillon. On estime alors d'une façon stochastique une fonction qui représente sous une forme ou une autre (fonction de production, de coût, de profit, etc.) la technique de production. Pour quantifier les effets des variations de prix sur la demande d'intrants, on peut utiliser ces indicateurs que sont les élasticités de substitution d'Allen et les élasticités-prix partielles (cf. annexe 3).

Une approche particulièrement utile pour estimer les élasticités partielles consiste à se placer dans un cadre dual, et à spécifier une fonction de type translog. La dualité, si l'agriculteur est à l'équilibre de court terme, permet d'estimer les élasticités de substitution par l'intermédiaire d'une fonction de coût, ce qui a l'avantage d'éviter de délicats problèmes de multicolinéarité qui hypothèquent l'estimation économétrique d'une fonction de production ainsi que les biais de simultanéité, fréquents en agriculture.

La spécification translog permet de modéliser la technique de production sans faire d'hypothèses restrictives *a priori* sur les substituabilités factorielles. Cette technique a fait l'objet de nombreux travaux ; elle est présentée sommairement dans l'annexe 2.

### *Résultats*

Les élasticités-prix de court terme (terre, travail et capital sont supposés ne pas pouvoir varier) qui sont présentées ici sont celles calculées au point moyen. Les résultats sont détaillés dans les annexes 2 et 3.

Tableau 1.  
Elasticités-prix de court terme au point moyen (fonction homothétique)

Quantité	Prix	Céréales intraconsommées	Tourteaux (achetés)	Aliments composés (achetés)
Céréales		- 1,56 (1,45)	0,59 (0,58)	0,96 (2,23)
Tourteaux		0,62 (0,58)	- 1,89 (1,81)	1,27 (1,86)
Aliments composés		1,41 (1,80)	1,77 (1,86)	- 3,19 (2,34)

Les chiffres entre parenthèses sont les *t* de Student approximatés d'après les écarts-types asymptotiques des estimateurs des élasticités d'Allen correspondantes.

Le signe négatif des élasticités propres, bien que faiblement significatives pour les céréales intraconsommées et les tourteaux, indique que la demande de chaque aliment diminue lorsque son prix augmente (et inversement), ce qui est conforme aux hypothèses économiques retenues.

L'élasticité-prix propre des aliments concentrés composés est particulièrement élevée. Il est vrai que ce résultat n'est valable que sur l'échantillon, où toutes les entreprises ont recours à l'intraconsommation, et donc possèdent, selon toute vraisemblance, à la fois le matériel et le savoir-faire nécessaire pour substituer des aliments simples aux aliments composés dès que les prix de ces derniers augmentent. Ce ne serait sans doute pas le cas sur un échantillon plus représentatif où une plus grande "inertie" des producteurs est vraisemblable, la fabrication d'aliments composés à la ferme pouvant nécessiter l'acquisition d'un moulin et des connaissances techniques pour optimiser la ration.

Les relations croisées entre céréales et tourteaux ne peuvent être déterminées, les élasticités, quels que soient les modèles et conventions retenus, étant très peu significatives. La cause en est sans doute une probable non-symétrie des effets: les conséquences seraient différentes si le prix des céréales baissait, une complémentarité avec le tourteau étant probable, ou s'il augmentait, le tourteau pouvant alors devenir une source d'énergie substituable aux céréales.

Le signe des élasticités croisées entre les céréales et tourteaux peut surprendre, les céréales étant souvent considérées comme des compléments aux tourteaux dans les rations. Mais, si techniquement les céréales ne peuvent remplacer les tourteaux lorsque ce sont les apports azotés sont limitants, l'inverse est possible, lorsque ce sont les apports énergétiques qui sont limitants. De plus, les bilans nutritionnels laissent penser qu'une "marge de sécurité", pour ne pas parler de gaspillage, dans la distribution de tourteaux existe, et donc que les contraintes zootechniques ne sont, marginalement, pas réellement actives, les substitutions économiques pouvant alors jouer. Il est d'ailleurs possible que certains éleveurs n'aient pas une très bonne connaissance du facteur limitant dans leurs rations, et qu'ils soient tentés de réduire l'emploi d'un facteur lorsque son coût augmente, même si cela nuit aux performances techniques.

La fonction translog laisse penser que, sur l'échantillon, une variation du prix des aliments composés se traduira par la relativement forte substitution d'une combinaison de céréales intraconsommées et de tourteaux. Des mesures de politique agricole abaissant le prix de marché des céréales auraient pour conséquence un recours accru à l'intraconsommation et, corrélativement, une baisse de la demande d'aliments composés, les élasticités partielles donnant un ordre de grandeur.

Néanmoins, l'interprétation des élasticités doit rester prudente. Bien des hypothèses implicites sont des hypothèses fortes: le comportement de minimisation des coûts, par exemple, alors que l'efficacité économique des agriculteurs et leur capacité à optimiser la ration est incertaine; dans

un certain nombre de cas, un examen attentif des résultats et des rations laisse croire à d'importantes distributions de concentrés dans des entreprises où le rendement laitier est très faible (2 900 kg/vache/an), et pourrait, sans aucun doute, être réalisé grâce aux seuls apports de la ration de base.

Par ailleurs, dans une approche comme celle-ci, on estime les substitutions sur des bases purement économiques: aucune contrainte technique n'est explicitement introduite, mais on suppose que les contraintes sont résumées dans l'information qu'apportent les parts de facteurs. Même si le résultat observé est cohérent avec les contraintes techniques, il est probable que l'approche retenue fait la part trop belle aux déterminants purement économiques des substitutions entre aliments, au détriment des contraintes nutritionnelles.

## L'UTILISATION DE PSEUDO-DONNÉES

### *Principe et intérêts de la méthode*

Un inconvénient majeur des estimations économétriques est qu'elles ne peuvent exploiter qu'une variabilité très pauvre. En effet, l'utilisation de séries temporelles (démarche de Surry, 1988) se heurte à des problèmes de données manquantes (les produits de substitution aux céréales se sont, par exemple, développés récemment), à de fortes tendances qui rendent colinéaires les variables et à un nombre de points restreints à quelques années sur lesquelles les données sont disponibles. Les données en *cross section* comme celles utilisées précédemment n'exploitent qu'une variabilité très réduite de prix dont il n'est pas toujours certain qu'elle ne corresponde pas au contenu hétérogène d'une rubrique comptable.

Une solution est de "générer" des données correspondant à des variations de prix plus grandes que celles qui existent dans les échantillons en *cross section* grâce à un modèle détaillé simulant la réalité avec toutes les contraintes technico-économiques nécessaires. Cela permet, d'une part, de se placer dans des situations qui n'existent pas dans la réalité, par exemple des cas où le prix d'un seul produit varie, et éviter des problèmes de colinéarité. L'avantage est de pouvoir générer une variabilité de situations plus importante que sur les échantillons observés. Cela permet, d'autre part, de déterminer des élasticités alors que, dans l'exploitation directe des résultats des modèles de programmation, celles-ci sont nulles, infinies ou n'existent pas selon l'endroit où l'on se place sur la surface constituée d'une série de plans et de "sauts".

On a choisi ici d'"approximer" localement la fonction de coût correspondant aux simulations du modèle de programmation linéaire par une fonction translog. Cette méthode a donné d'excellents résultats dans le

cas de l'élasticité de la demande de matière première par les industriels de l'alimentation animale (McKinzie *et al.*, 1985).

Les inconvénients majeurs de cette méthode sont qu'elle est très dépendante d'une bonne validité du modèle et de sa capacité à représenter des comportements qui se passeraient réellement dans des situations très différentes de la réalité.

### Résultats

Les résultats d'estimation sont présentés en annexe. Un compromis est nécessaire pour définir l'éventail de variation des prix qui vont servir à élaborer les pseudo-données générées par le modèle de programmation linéaire. Plus l'intervalle sera grand, plus les solutions seront différentes et plus la variabilité de l'échantillon sera grande. Cependant, la translog n'est qu'une approximation locale qui devient souvent très médiocre quant on s'écarte du point en question. Nous avons tranché arbitrairement pour des données variant de 30 % autour des prix observés en 1986. Les élasticités sont calculées au point moyen dans tous les cas, qui est la solution centrale du modèle de programmation linéaire (PL) et dont les caractéristiques sont données en annexe. Les élasticités d'Allen et les élasticités-prix partielles sont calculées par les formules habituelles. Les résultats sont détaillés dans l'annexe 4. Seules sont présentées ici les estimations réalisées en indexant le prix des aliments concentrés composés pour vaches laitières d'origine industrielle sur le prix des matières premières (céréales et tourteaux) selon la méthode décrite précédemment.

Tableau 2.  
Elasticités-prix dans le cas de pseudo-données (Résultats avec indexation du prix des aliments composés)

Quantité	Prix	Céréales vendues	Céréales achetées	Tourteaux	Aliments composés
Céréales intraconsommées		- 1,73	0,32	- 1,35	2,76
Céréales achetées		4,81	- 9,48	0,85	3,82
Tourteaux		- 0,52	- 0,68	- 3,62	4,11
Aliments composés		1,34	0,02	5,22	- 6,69

Toutes les élasticités sont statistiquement significatives

Ces résultats, s'ils sont par construction conformes aux contraintes techniques spécifiées dans le modèle PL, apparaissent cependant élevés en valeur absolue, par rapport à ce qui est généralement calculé dans la littérature. Sans doute faut-il y voir l'effet de la simplicité du modèle et du trop faible nombre d'entreprises agrégées, qui conduit le programme linéaire à réagir brusquement alors que, dans la réalité, la diversité des comportements "lisse" les réponses.

En particulier, les élasticités des achats de céréales paraissent très élevées à cause du très faible volume au point de référence : quelques entreprises seulement ayant recours à ces achats, l'agrégation ne permet pas de lisser les réponses, très brusques par construction, des programmes linéaires. Les élasticités obtenues traduisent ainsi largement les imperfections de la méthode dans le cas d'un échantillon de taille insuffisante.

Le signe de l'élasticité des céréales achetées par rapport au prix des céréales vendues ne doit pas surprendre : les simulations sont effectuées avec une déconnexion de ces deux prix, comme dans le cas d'une taxe de coresponsabilité. Ainsi, est-il logique que, lorsque les prix de vente des céréales diminuent, les achats de céréales diminuent également puisque les prix à l'achat n'ont pas varié et que les quantités intraconsommées augmentent au détriment des céréales achetées.

Les tourteaux apparaissent complémentaires des céréales intraconsommées et achetées, ce qui est logique puisque l'on prend ici explicitement en compte les contraintes d'équilibre de la ration. A l'inverse de l'estimation translog directe, qui faisait sans doute trop abstraction de ces caractéristiques techniques, on suppose ici que les prix ne jouent un rôle dans les substitutions que dans la mesure où les contraintes d'équilibre sont vérifiées.

Au vu de ces résultats, il apparaît donc qu'une baisse des prix des céréales vendues et une hausse du prix des aliments composés auraient un impact déterminant sur l'intraconsommation de céréales, qui augmenterait dans de fortes proportions. Une baisse du prix des tourteaux serait également un élément qui irait dans le sens d'un plus grand recours à l'intraconsommation.

Par rapport à l'estimation translog directe, les élasticités des tourteaux ont, dans le cas de pseudo-données, un signe plus conforme à ce que l'on sait des contraintes zootechniques. Par contre, on retrouve le caractère "brusque" des variations propres à la programmation linéaire.

## CONCLUSIONS

La particularité du sujet, l'intraconsommation, et la carence de données font que les méthodes économétriques se trouvent poussées à la limite de leur utilisation possible. L'approche duale retenue, seule satisfaisante pour estimer des formes flexibles sans que se posent exagérément les problèmes de multicollinéarité, explique sans doute trop largement les substitutions possibles par les prix. Cette approche se heurte à la faible variabilité des variables explicatives sur des données de coupe, à des tendances colinéaires et à des apparitions de produits nouveaux sur des données temporelles. Sans doute l'utilisation de données de panel est-elle une piste prometteuse. En outre, il faut souligner que les estimations auraient sans doute été de bien meilleure qualité sur un échantillon plus important.

Les méthodes de programmation linéaire présentent l'avantage de tenir explicitement compte de contraintes techniques qui limitent ou augmentent la portée des substitutions économiques. Elles permettent également de simuler des variations non marginales consécutives à des mesures de politique agricole modifiant profondément les conditions économiques (quotas). Certains reproches qui leur sont traditionnellement faits sont aujourd'hui devenus caducs du fait des progrès informatiques, en particulier sur les problèmes d'agrégation et de temps de calcul. Il reste que les résultats sont très dépendants de l'omission de ces contraintes, et la construction de modèles nécessite des données technico-économiques très précises qui ne sont généralement pas disponibles. Cette approche, avec au moins un nombre restreint de contraintes et dans un cadre statique, soulève aussi le problème du cadre d'équilibre (court ou long terme) dans lequel on se place. La solution retenue ici est, de ce point de vue, quelque peu bâtarde car on surestime la fixité de certains facteurs (le niveau d'intensification, de capital, etc. ne varient pas), tout en surestimant la fluidité et la vitesse d'ajustement des facteurs variables.

L'utilisation de pseudo-données peut permettre d'utiliser les méthodes économétriques dans des conditions satisfaisantes, en générant une variabilité plus importante que celle observée dans la réalité et en incorporant explicitement les contraintes techniques et les variations non marginales dans l'environnement économique. Cependant, la validation du modèle à l'amont est capitale, et les estimations ne sont pas indépendantes de l'intervalle sur lequel les prix ont été "paramétrés" (ce qui est logique, les élasticités étant définies localement). On retrouve de plus les inconvénients des modèles PL, à savoir le caractère brusque des réponses, si l'on considère un nombre d'entreprises types trop faible.

Il est donc bien difficile de conclure à la supériorité d'une approche même si, dans l'absolu, nous pensons que les modèles très détaillés de programmation mathématique apportent des possibilités de simulations et une robustesse des résultats que les méthodes économétriques sont loin d'approcher. Néanmoins, leur mise en œuvre reste très lourde, les typologies d'entreprises sur lesquelles ils doivent reposer sont très délicates et l'on dispose rarement des données pour les alimenter. Il n'est donc pas étonnant que l'alternative économétrique soit souvent préférée.

## ANNEXE 1

**L'ÉCHANTILLON DE LA SONDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE  
LAITIÈRE "BRETAGNE" DU RICA**

Le problème principal lorsqu'il s'agit d'utiliser sur des sondes technico-économiques du RICA est la limitation du champ couvert, puisque elles ne portent pas sur les porcins et volailles, secteurs importants pour l'intraconsommation de céréales au niveau national. Nous n'avons ici travaillé que sur des entreprises laitières bretonnes, sur la base des caractéristiques techniques et économiques en 1986.

La sonde "Bretagne" est gérée par le CEMAGREF de Riom qui enregistre des données techniques et économiques détaillées permettant une analyse approfondie des entreprises et des systèmes de production. Cet échantillon de 45 entreprises n'a pas pour vocation d'être représentatif de l'ensemble des producteurs de lait bretons, mais d'une frange d'agriculteurs très spécialisés, d'une taille et d'une technique de production susceptibles de permettre la pérennité de l'entreprise.

42 % des exploitations sont situées en Ille-et-Vilaine, 26 % dans le Morbihan, 18 % dans les Côtes-du-Nord, 13 % dans le Finistère. Les caractéristiques moyennes de l'échantillon sur lequel ont été menées les estimations économétriques sont présentées dans l'annexe 2. La superficie des entreprises est comprise entre 14 et 62 hectares. L'âge moyen des agriculteurs est de 47 ans. Le rendement laitier moyen par vache est de 4990 litres/an. Le quota attribué moyen de 157 000 litres. Une description détaillée ainsi qu'une présentation des systèmes fourragers peut être trouvée dans CEMAGREF (1987).

Pour l'estimation translog, les entreprises de la sonde atypiques en termes d'aliments concentrés ont été éliminées (celles utilisant de l'urée par exemple). Dans l'échantillon sur lequel ont été menées les estimations, aucune entreprise n'achète de céréales pour effectuer elle-même ses mélanges de concentrés, et toutes ont recours à l'intraconsommation.

Il n'a en effet pas été possible, du fait du nombre trop faible d'entreprises ne cultivant pas de céréales, d'introduire la possibilité (par exemple sous la forme d'un modèle "tobit" dans l'estimation des parts de facteurs) de choix préalable de ne pas avoir recours à l'intraconsommation. La conséquence en est que les élasticités de demande de céréales intraconsommées risquent d'être surestimées par rapport à un échantillon plus représentatif, car aucune des entreprises sur lesquelles a porté l'estimation ne fait face à ces "barrières à l'entrée" que sont les achats d'équipements spécifiques (moulin, matériel de culture de céréales).

ANNEXE 2

*L'APPROCHE ÉCONOMÉTRIQUE TRANSLOG*

Sous des hypothèses de non-négativité, continuité, double différentiabilité, non-décroissance, homogénéité de degré un par rapport aux prix des facteurs variables de la fonction de coût et de quasi-concavité de la fonction de production, la seule fonction de coût restreint, c'est-à-dire celle où des facteurs sont considérés comme fixes à court terme, permet de caractériser entièrement la technique de production. Si l'agriculteur minimise ses coûts en ajustant le niveau de facteurs variables en fonction de leurs prix, on peut obtenir les demandes de court terme pour les facteurs variables.

Soit la fonction de coût restreint  $CR(y, p_x, z)$ , où  $p$  est le vecteur des prix des facteurs variables,  $z$  le vecteur du niveau des facteurs fixes et  $y$  la production. Cette fonction de coût exprime le coût variable minimal auquel il est possible de produire  $y$ , étant donnés les prix des facteurs variables et le niveau de facteurs fixes dont on dispose :

$$CR(y, p_x, z) = \text{Min}_x \sum_j p_{xj} x_j \tag{1}$$

sous contrainte de  $f(x, z) \geq y$ .

Cette fonction est duale de la fonction de production  $y = f(x, z)$  où  $f$  exprime le maximum techniquement possible qu'il est possible de produire à l'aide d'une combinaison de facteurs. A court terme, le coût total de la production sera la somme de ce coût variable minimal et du flux de coût des facteurs quasi fixes  $z$  (on notera ce flux unitaire  $p_z$ ):

$$CT^{CT}(y, p_x, p_z, z) = CR(y, p_x, z) + \sum_m p_{zm} \cdot z_m \tag{2}$$

Ce coût n'est donc pas nécessairement minimal puisque les facteurs quasi fixes  $z$  ne sont pas forcément à leur niveau optimal, mais cette expression donne le coût total, minimisé à court terme compte tenu de la contrainte de fixité des facteurs  $z$  ; (voir Guyomard et Vermersch, 1987 ; Bureau et Vermersch, 1988, pour des développements plus complets). On peut, grâce à la fonction de coût restreint, calculer les demandes  $x_n^*$  de court terme des facteurs variables  $x_n$  (c'est-à-dire celles qui minimiseront les coûts variables de court terme), par le lemme de Shephard qui donne la relation :

$$\delta CR(y, p_x, z) / \delta p_{xn} = x_n^*(p_x, z, y) \tag{3}$$

La spécification adoptée pour la fonction de coût restreint est une forme translog :

$$\begin{aligned}
 \ln CR = & a_0 + a_1(\ln y) + a_2(\ln y)^2 + \sum_i b_i \cdot \ln p_i \cdot \ln y + \sum_i c_i \cdot \ln p_i \\
 & + 1/2 \sum_i \sum_j d_{ij} \cdot \ln p_i \cdot \ln p_j + \sum_b f_b \cdot \ln z_b + 1/2 \sum_q \sum_b g_{qb} \cdot \ln z_b \cdot \ln z_q \\
 & + \sum_i \sum_b k_{ib} \cdot \ln p_i \cdot \ln z_b + \sum_b \beta_b \cdot \ln y \cdot \ln z_b
 \end{aligned} \tag{4}$$

d'après l'équation (3), on a donc, à l'équilibre de court terme:

$$\ln CR / \ln p_i = p_i / CR \cdot \delta CR / \delta p_i = p_i x_i^* / C = M_i \tag{5}$$

On dispose ainsi des équations de parts de facteurs, linéaires par rapport aux prix, qui vont permettre d'estimer les paramètres de la fonction translog:

$$M_i = c_i + b_i \cdot \ln y + 1/2 \sum_j (d_{ij} + d_{ji}) \ln p_j + \sum_b k_{ib} \cdot \ln z_b \tag{6}$$

La symétrie des dérivées seconde a été ici imposée. En revanche, ont été testées l'homogénéité linéaire de la fonction de coût par rapport aux prix des facteurs variables, et l'homothétie de la fonction de production, en imposant les contraintes appropriées sur les paramètres, par un test asymptotique du rapport de vraisemblance. Il a conduit à accepter l'homothétie. Sont pris en compte comme facteurs variables, les aliments concentrés composés achetés, les céréales intraconsommées, les tourteaux achetés. Toutes les charges dans les parts de facteurs, sont des charges réelles, c'est-à-dire tenant compte des variations de stocks. Ont été reconstitués, à l'aide d'indices Tornqvist, des prix agrégés des facteurs variables à partir du prix de chacun des composants (Caves *et al.*, 1982). L'indice Tornqvist est de plus exact pour une fonction agrégatrice de type translog, ce qui rend la constitution des agrégats de facteurs cohérente avec la spécification retenue pour la fonction de coût. Sont pris en compte comme facteurs quasi-fixes, la terre, le travail et le capital. Le capital a été introduit sous la forme d'un flux sur la période (assimilé à un fermage calculé pour la terre, aux amortissements pour les matériels et bâtiments d'élevage, à la somme des charges affectées pour le capital circulant et à une rémunération forfaitaire du capital immobilisé pour les animaux reproducteurs adultes). La main-d'œuvre est exprimée en UTA. La quasi absence de main-d'œuvre salariée a conduit à considérer toute la main-d'œuvre comme fixe. Le produit est le produit brut bovin.

Les principales limites des conventions retenues ont trait au prix des céréales intraconsommées. Il a été considéré ici que leur coût d'opportunité était le prix de vente observé sur l'entreprise pour les cultures en question. A défaut, ils ont été remplacés par un indice agrégeant les prix de vente moyens sur le département des différentes céréales intraconsommées. Autre limite, les engrais et les produits de défense des végétaux n'ont pas été intégrés sous la forme de facteurs variables.

La fonction estimée s'est révélée concave au point moyen, et concave sur 70% de l'échantillon. Les paramètres de la fonction de coût, estimés

sur l'ensemble des parts de facteurs, grâce à la méthode du maximum de vraisemblance, en éliminant une équation grâce à la contrainte d'additivité des parts de facteurs (on a  $\sum M_i = 1$  ce qui rend singulière la matrice de variance-covariance du système complet sous sa forme stochastique) et les tests menés ont conduit aux résultats suivants :

Facteurs variables:

- l'indice  $i = 1$  indique les céréales intraconsommées,
- l'indice  $i = 2$  indique les tourteaux,
- l'indice  $i = 3$  indique les aliments concentrés composés.

Facteurs quasi-fixes:

— l'indice  $b = 1$  indique le capital sous forme de flux (en francs). Il comprend le matériel (le coût d'usage est la somme des amortissements du matériel et des bâtiments plus une rémunération forfaitaire des immobilisations), le foncier (à travers un équivalent fermage des terres) et le capital circulant (hors disponible), stocks, avances aux cultures et animaux reproducteurs adultes (à travers une rémunération forfaitaire).

- l'indice  $b = 2$  indique la main-d'œuvre (UTH)

Le point moyen a pour caractéristiques :

- part des différents aliments dans les charges variables:

- .  $M1 = 0,38$
- .  $M2 = 0,36$
- .  $M3 = 0,26$

- superficie totale = 33 ha
- surface fourragère = 25 ha
- effectif moyen de vaches laitières = 34
- animaux, en Unités Gros Bovins = 48
- produit brut animal = 399 398 F
- immobilisations totales constructions = 119 000 F
- immobilisations totales matériel = 1 560 386 F
- charges opérationnelles affectées au bovins = 88 203 F
- travail = 1,54 UTH.

Tableau 3.  
Fonction de  
coût restreint  
(version homothétique)

Paramètres	Valeur	Ecart-type
$c_1$	0,379	0,038
$d_{11}$	- 0,356	0,409
$d_{12}$	- 0,088	0,391
$k_{11}$	- 0,056	0,103
$k_{12}$	0,353	0,221
$c_2$	0,361	0,043
$d_{22}$	- 0,455	0,379
$k_{21}$	0,127	0,094
$k_{22}$	- 0,285	0,202
$c_3$	0,258	0,042
$d_{13}$	0,268	0,164
$d_{23}$	0,367	0,278
$d_{33}$	- 0,635	0,353
$LV$	19,219	

## ANNEXE 3

## LES ÉLASTICITÉS DE SUBSTITUTION PARTIELLES

Précisons que l'on ne s'attachera ici qu'aux effets de substitution "nets", c'est-à-dire que le niveau de la production qui utilise les aliments en question reste constant. Or, il a été démontré (Berndt et Wood, 1979) que la prise en compte d'effets d'expansion peut modifier considérablement les effets de substitutions nets, et même faire apparaître complémentaires des facteurs mesurés comme substituables.

L'élasticité de substitution, dans le cas de deux facteurs de production  $x_1$  et  $x_2$ , est définie comme la variation proportionnelle dans le ratio de facteurs résultant d'une variation proportionnelle dans le taux marginal de substitution entre  $x_1$  et  $x_2$ . Si les prix des facteurs sont exogènes et ne varient pas avec les quantités demandées (comme c'est le cas au niveau micro-économique en agriculture), si le producteur minimise ses coûts, une interprétation simple de l'élasticité de substitution en est la variation (en pourcentage) dans le ratio de facteurs divisé par la variation (en pourcentage) du prix relatif des facteurs.

Dans le cas où il y a plus de deux facteurs de production, il faut définir des élasticités de substitution partielles. Un des concepts les plus fréquemment utilisés est celui des élasticités de substitution d'Allen, qui donnent une mesure de la variation dans la demande de facteur  $x_j$  consécutive à un changement dans le prix d'un facteur  $x_i$ , tous les autres prix des facteurs restant constants. Ces élasticités croisées  $AES_{ij}$  peuvent être positives, auquel cas les facteurs sont substituables, ou négatives, auquel cas les facteurs  $i$  et  $j$  sont complémentaires, et l'entreprise diminue sa demande de facteur  $i$  quand le prix du facteur  $j$  augmente. Les élasticités propres  $AES_{ii}$  doivent, en toute logique, être négatives, au moins pour les biens entrant couramment dans le processus de production agricole.

Sous l'hypothèse que le producteur cherche à minimiser ses coûts, et sous celle de quasi-concavité de la fonction de coût, on peut montrer que les élasticités d'Allen ont une interprétation directe en terme d'élasticité-prix partielle,

$$e_{ij} = (\delta x_i / \delta p_j) (p_j / x_i) \quad (7)$$

par la relation :

$$e_{ij} = AES_{ij} \cdot M_i \quad (8)$$

où  $M_i$  est la part de la dépense consacrée au facteur  $i$  dans les dépenses totales de facteurs. Sous ces hypothèses, l'estimation des élasticités d'Allen permet donc de connaître l'impact d'une variation de prix d'un facteur sur la demande des autres facteurs (ou de ce facteur lui-même). Ceci ne vaut cependant que pour des variations marginales de prix car ces élasticités ne sont pas les mêmes en tous points sauf dans les cas très par-

ticuliers où la fonction de production serait à élasticité de substitution constante. Rappelons qu'il s'agit là encore de la demande optimale, c'est-à-dire qui minimise le coût, et que l'hypothèse d'un agriculteur ajustant ses combinaisons de facteur de manière à produire à moindre coût est nécessaire.

A l'aide des paramètres de la fonction de coût estimée, les élasticités d'Allen et les élasticités-prix partielles de court terme sont estimées en utilisant la relation (3) :

$$\begin{aligned} AES_{ij} &= (x_{ij}^*/p_j)(p_j/x_i^*) \cdot M_j \\ &= CR_{ij} \cdot p_j/x_i^* \cdot M_j \\ &= CR \cdot CR_{ij}/CR_i \cdot CR_j \end{aligned} \tag{9}$$

où  $CR_i$ ,  $CR_j$ ,  $CR_{ij}$  indiquent les dérivées partielles premières et secondes de  $CR$  par rapport au prix des facteurs variables  $i$  et  $j$ . Soit :

$$AES_{ij} = 1 + d_{ij}/M_i M_j \tag{10}$$

$$AES_{ii} = 1 - 1/M_i + d_{ii}/(M_i^2) \tag{11}$$

et les élasticités-prix partielles, propres et croisées :

$$e_{ij} = M_j + d_{ij}/M_i \quad (i \text{ différent de } j) \tag{12}$$

$$e_{ii} = M_i - 1 + (d_{ii}/M_i) \tag{13}$$

Tableau 4.  
Elasticités d'Allen au point moyen (version homothétique)

	Céréales intraconsommées	Tourteaux (achetés)	Aliments composés (achetés)
Céréales	- 4,11 (1,45)	1,64 (0,58)	3,73 (2,23)
Tourteaux	1,64 (0,58)	- 5,24 (1,81)	4,92 (1,86)
Aliments composés	3,73 (1,80)	4,92 (1,86)	- 12,35 (2,34)

Les chiffres entre parenthèses sont les  $t$  de Student "approximés" d'après les écarts-types asymptotiques des estimateurs.

Les élasticités-prix sont données dans le texte.

ANNEXE 4

UTILISATION DES PSEUDO-DONNÉES

Tableau 5.  
Estimateurs MV des  
paramètres des  
équations  
de part de facteurs

Paramètres	Valeur	Ecart-type
$c_1$	0,174	0,002
$d_{11}$	- 0,157	0,012
$d_{12}$	0,053	0,423
$d_{13}$	- 0,314	0,044
$d_{22}$	- 0,977	0,424
$d_{23}$	0,045	0,043
$c_2$	0,011	0,195
$c_3$	0,454	0,347
$d_{33}$	- 1,396	0,072
$d_{14}$	0,417	0,016
$d_{24}$	0,039	0,070
$d_{34}$	1,705	0,082
$d_4$	- 2,161	0,138
$c_4$	0,360	0,128
LV	2 586,4	

L'indice 1 indique les céréales intraconsommées, 2 les céréales achetées, 3 les tourteaux, 4 les aliments composés.

A l'exception de  $d_{23}$ , tous les paramètres sont significativement différents de zéro.

Au point moyen (solution centrale du modèle), on a :

- M1 0,17
- M2 0,011
- M3 0,45
- M4 0,36

Les  $R^2$  sont pour les équations M1, M2, M3, respectivement de 0,71, 0,51, 0,62.

Tableau 6.  
Elasticités d'Allen dans  
le cas de  
pseudo-données  
(résultats avec indexation  
du prix des aliments  
composés)

	Céréales vendues	Céréales achetées	Tourteaux	Aliments composés
Céréales intraconsommées	- 9,93 (- 22,7)	27,6 (6,7)	- 2,97 (16,4)	7,71 (3,2)
Céréales achetées		- 821,7 (- 12,1)	1,86 (1,34)	10,66 (5,6)
Tourteaux			- 7,97 (- 22)	11,50 (22)
Aliments composés				- 18,7 (16,6)

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN (R.G.D.), 1938 — *Mathematical analysis for economists*, London, McMillan.
- BERNDT (E.) ET WOOD (R.), 1979 — Engineering and econometric interpretations of energy-capital complementarity, *American Economic Review*, 69, 3, juin, pp. 343-354.
- BONNAFOUS (P.), 1987 — *L'incidence des quotas sur l'évolution des systèmes intensifs de production laitière*. Grignon, INRA ESR, Série Etudes et Recherches n° 7, 140 p.
- BOUSSARD (J.-M.) ET DAUDIN (J.-J.), 1988 — *La programmation linéaire dans les modèles de production*. INRA, Actualités scientifiques et agronomiques, Masson, 127 p.
- BUREAU (J.-C.) ET VERMERSCH (D.), 1988 — Demande de facteurs et travail familial dans les exploitations céréalières. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, 8, pp. 27-45.
- CAVES (D.-W.), CHRISTENSEN (L.-R.) ET DIEWERT (W.E.), 1982 — Multilateral comparisons of outputs, inputs and productivity using superlative index numbers. *The Economic Journal*, 92, 1, pp. 73-86.
- CEMAGREF, 1987 — *Résultats 1985 (7<sup>e</sup> exercice) de la sonde technico-économique du RICA, "production laitière en Bretagne"*. Etude n° 107, Riom, juillet, 62 p.
- CORDONNIER (P.), GUINET (A.), BONNAFOUS (P.), OTTONI (M.), GIROD (D.), BLONDEL (R.), 1983 — *Modèle PLERIN. Offre et demande de fourrages par période, matrice zootechnique*. Grignon, INRA ESR, juin, 31 p.
- CORDONNIER (P.), GUINET (A.), BONNAFOUS (P.), GIROD (D.), BLONDEL (R.), 1986 — *Modèle PLERIN. Tome "Information de base" et tome "Résultats technico-économiques"*. Grignon, INRA ESR, juin, non paginé.
- GUYOMARD (H.) ET VERMERSCH (D.), 1987 — *La fonction de coût restreint: caractérisation duale du déséquilibre factoriel*. Rennes, INRA ESR, octobre, 26 p.
- INRA, sous la direction de JARRIGE (R.), 1980 — *Alimentation des ruminants*. Paris, INRA, Collection Actualités scientifiques et agronomiques, 621 p.
- MC KINZIE (L.), PAARLBERG (P.), HUERTA (I.), 1986 — Estimating a complete matrix of demand elasticities for feed components using pseudo-data. A case study of Dutch compound livestock feed. *European Review of Agricultural Economics*, 13, pp. 43-56.

SURRY (Y.), 1988 — *An econometric model of the French compound feed sector.*  
Communication au séminaire "Economic Modelling in Agriculture  
(14-16 avril)" de l'AEEA, Bonn, 20 p.