

Productivité agricole et rattrapage technologique : le cas des exploitations de grandes cultures du Nord-Pas-de-Calais

Stéphane BLANCARD
Jean-Philippe BOUSSEMART

Catching-up effect in agricultural productivity : The case of arable farms in Nord-Pas-de-Calais

Summary – One of the principal objectives of successive reforms of the CAP has been to increase the exposure of European agriculture to market forces. As a result, the search for competitiveness has become a major preoccupation for farmers. The poorest performers must catch up with the most efficient ones through the progressive adoption of best practice. Our research sought to reveal and measure these possible convergence phenomena in a study of 178 arable farms in the same region (Nord-Pas-de-Calais). The study analyses data from 1994 to 2001, a period encompassing the Mac Sharry reform and the first measures of Agenda 2000. From estimates of total factor productivity based on a distance function, our results clearly indicate evidence of catch up between the farms, through increased technical and scale efficiencies.

Key-words : agriculture, catch-up process, distance function, production technology, total factor productivity

Productivité agricole et rattrapage technologique : le cas des exploitations de grandes cultures du Nord-Pas-de-Calais

Résumé – Un des principaux objectifs des différentes réformes successives de la PAC est de soumettre davantage l'offre agricole européenne aux signaux des marchés. De fait, la recherche de compétitivité devient une préoccupation majeure des agriculteurs. Les moins performants doivent rattraper les plus efficaces en essayant d'adopter progressivement les meilleures pratiques. Notre étude tente de révéler et de mesurer ces éventuels phénomènes de convergence des performances productives entre les exploitations agricoles. Elle porte sur 178 exploitations spécialisées en grandes cultures et situées dans un même bassin de production (Nord-Pas-de-Calais), au cours de la période 1994-2001 (période d'application de la réforme Mac Sharry et des premières mesures d'Agenda 2000). À partir d'estimations des niveaux de la productivité globale des facteurs basées sur la notion de fonction de distance, nos résultats indiquent clairement des processus de rattrapage, à la fois technique, et d'échelle entre les exploitations.

Mots-clés : agriculture, rattrapage technologique, fonction de distance, technologie de production, productivité globale des facteurs

* CERESUR, Université de La Réunion, 15 avenue René-Cassin, BP 7151, 97715 Saint-Denis-Messag cedex 9
e-mail : stephane.blancard@univ-reunion.fr

** GREMARS, Université de Lille 3 - Charles-de-Gaulle, BP 60149, 59653 Villeneuve-d'Ascq cedex
et GRECAT ISA-Lille, 48 boulevard Vauban, 59046 Lille cedex
e-mail : jean-philippe.boussemart@univ-lille3.fr

Nous tenons à remercier J.-M. Boussard, J.-P. Butault et P. Sevestre ainsi que les deux rapporteurs anonymes et l'éditeur de cette revue pour leur aide et leurs commentaires pertinents. Nous restons seuls responsables des erreurs qui pourraient subsister.

APRÈS avoir poursuivi un objectif d'accroissement de la production pendant plusieurs décennies, la Politique agricole commune (PAC) a subi à partir des années 1990 des réformes majeures qui l'ont entraînée dans une direction nouvelle axée principalement sur le marché. Ces réformes devaient s'attacher à promouvoir *(i)* un secteur agricole compétitif capable de tirer parti des débouchés existants sur les marchés mondiaux, sans subventions excessives et tout en garantissant à la communauté agricole un niveau de vie équitable, *(ii)* des méthodes de production sûres permettant de fournir des produits de qualité, *(iii)* des communautés rurales dynamiques capables d'offrir des perspectives d'emploi et *(iv)* un secteur agricole durable en termes de respect de l'environnement.

Ces réformes ont ainsi modifié radicalement les conditions de l'environnement économique et politique des exploitations agricoles. Plus précisément, le changement de la politique publique de soutien à l'agriculture, par le biais d'aides progressivement découplées de la production, devait non seulement rééquilibrer les effets des termes de l'échange en faveur des pays tiers jugés jusqu'alors trop profitables pour l'Europe, mais aussi contribuer à diminuer certains effets de distorsion entre les décisions des consommateurs et celles des agriculteurs. Antérieurement, ceux-ci, profitant de prix particulièrement rémunérateurs, pouvaient être incités à développer des choix de production et d'allocation de ressources peu compatibles avec leurs avantages comparatifs naturels et diminuaient ainsi le bien-être national ¹. Désormais, face à cette nouvelle orientation des aides, il était envisagé que la recherche de performances technique et allocative deviendrait une préoccupation constante des agriculteurs en place essayant d'enrayer une baisse de leur revenu. Cette amélioration de la productivité globale aboutissant à des nouvelles pratiques culturales réduirait les impacts négatifs des activités agricoles sur l'environnement par une diminution du niveau des intrants utilisés.

Par rapport à d'autres études relatives aux impacts des réformes de la PAC sur les exploitations les plus concernées, à savoir les exploitations de grandes cultures (Lefer et Blaskovic, 1994 ; Flichman, 1995 ; Boussard *et al.*, 1997 ; Jacquet *et al.*, 2004), la particularité de notre travail est de mesurer les effets de rattrapage ou de diffusion technologique qui risquent de s'opérer entre ces systèmes de production. En effet, comme nous venons de le mentionner, lorsque ceux-ci sont situés dans un même bassin de production, et donc soumis aux mêmes avantages comparatifs, le découplage des aides et la baisse progressive des prix doivent inciter les exploitations à modifier leurs pratiques culturales pour s'aligner vers les meilleurs niveaux de productivité globale des facteurs. Dans la perspective d'étudier empiriquement la pertinence de cette hypothèse, nous proposons d'analyser l'évolution des différentiels de productivité entre 178 exploitations du Nord-Pas-de-Calais sur la période récente 1994-2001 (période d'application de la réforme Mac Sharry et des premières mesures d'Agenda 2000).

¹ L'exemple du développement significatif de l'offre de grandes cultures aidées par la PAC au détriment des filières traditionnelles de certaines régions naturelles du Nord-Pas-de-Calais (légumes frais, maraîchage, viande de porc, volaille) est particulièrement illustratif des réallocations que l'ancienne PAC a induites.

A partir d'une interprétation particulière de la fonction de production comme une frontière du techniquement possible (les combinaisons d'outputs et d'inputs garantissant soit le minimum possible d'utilisation de ressources pour atteindre un niveau de production souhaité, soit le maximum de production envisageable étant donné les dotations en facteurs), nous décomposons les indicateurs de productivité en terme d'efficacités technique et d'échelle. Par rapport aux indices traditionnels de productivité globale des facteurs, cette prise en compte explicite des écarts à la frontière de production par le biais de fonctions de distance non paramétriques présente plusieurs avantages. Cette approche permet de comparer chaque entité non seulement à ses propres performances passées, mais aussi aux meilleures pratiques du groupe étudié, sans imposer l'absence d'inefficacité technique. Par ailleurs, elle ne présuppose pas la rémunération des facteurs à leur productivité marginale et donc l'efficacité allocative. Enfin, elle n'introduit pas les biais inhérents aux formes fonctionnelles imposées a priori².

Enfin, il est intéressant de souligner qu'au cours du temps, le rapprochement des exploitations agricoles les moins performantes à une frontière de production représentant un *benchmark* composé des meilleures pratiques observables correspond à un mécanisme d'ajustement vers leur équilibre de croissance de long terme. Ce rapprochement peut, dès lors, être relié à une problématique de rattrapage ou de diffusion technologique : les taux de variation de la productivité globale, ainsi que ses composantes technique et d'échelle, sont négativement reliés aux niveaux de ces mêmes variables en début de période.

Une première section décrit la base de données et fait une rapide analyse du rattrapage des performances entre les agriculteurs à partir d'indicateurs technico-économiques usuels tels que les rendements, le chiffre d'affaires ou la surface agricole utilisée (SAU). Une deuxième section définit précisément la mesure des écarts de productivité ainsi que ses composantes technique et d'échelle à partir de la notion de fonction de distance. Elle rapproche ces indices de productivité de la problématique de la diffusion technologique et montre comment ces indicateurs apparaissent plus pertinents que les ratios techniques et de rentabilité précédents pour détecter des effets de rattrapage entre les exploitations. La dernière section spécifie le modèle de production ainsi que les variables retenues, calcule les différentiels de productivité et estime économétriquement les effets de diffusion technologique.

Le rattrapage des performances entre les agriculteurs, une observation à partir de quelques indicateurs

Nos données sont issues des documents comptables fournis par le Centre d'économie rurale (CER) du Pas-de-Calais sur un panel cylindré de 178 exploitations spécialisées en grandes cultures de 1994 à 2001 à partir duquel des analyses de groupe ont été effectuées. Par le biais des conseillers de gestion, ces analyses permettent aux exploitants de pouvoir établir un diagnostic opérationnel de leur entreprise en se

² Pour des exemples d'applications de cette approche sur l'agriculture française, on peut consulter le numéro spécial des *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, n° 31, et notamment l'article de Piot (1994).

positionnant par rapport aux moyennes ou à différents sous-groupes dits « leaders », et de procéder ainsi à une analyse technico-économique du type *benchmarking*. Au-delà des résultats présentés dans cette recherche, le CER souhaitait établir une comparaison et un lien entre les scores d'efficacité individuels que nous avons calculés et ses propres indicateurs sur ce groupe d'exploitations de référence. Certes, un travail sur une telle base (panel cylindré constitué exclusivement d'exploitations pérennes) peut limiter la validité ou la portée générale des résultats présentés. Mais par ailleurs, l'élargissement des observations à plusieurs régions ou à d'autres orientations technico-économiques présenterait d'autres inconvénients (trop grande hétérogénéité technologique ou climatique) parfois difficiles à appréhender. L'intérêt d'utiliser cet échantillon est donc double. D'une part, nous pouvions bénéficier rapidement, et sans demande de lourds travaux complémentaires sur la base de données, d'un échantillon particulièrement bien étudié par le CER. D'autre part, nous avions à disposition des exploitations pérennes sur lesquelles nous pouvons admettre l'hypothèse d'une technologie assez homogène (même orientation technico-économique, conditions pédo-climatiques assez similaires). Ce panel nous apparaît donc, en l'état actuel de ce que nous disposons comme données, assez bien adapté à notre objectif qui est l'étude du rattrapage ou de diffusion technologique entre les exploitations qui se maintiennent au cours d'une phase de modification assez radicale de leur environnement économique³.

En moyenne, les exploitations retenues réalisent un chiffre d'affaires de 225 000 € sur une surface de plus de 112 hectares avec 1,8 unités de travail annuel (UTA). Les écarts de taille vont de 1 à 16 pour la surface, et de 1 à 38 pour le chiffre d'affaires. Nous remarquons que malgré ces étendues importantes, notre échantillon est relativement homogène, les coefficients de variation sont en général faibles (< 1). De plus, au cours des huit années, cette dispersion des inputs et des outputs est relativement stable.

Sur la période, le taux de croissance annuel a été plus rapide pour le chiffre d'affaires mesuré à prix constants que pour les hectares et le temps de travail. Le volume des ventes par hectare ou par unité de main-d'œuvre a donc augmenté. Cependant, au regard des évolutions des rendements du blé et de la betterave (graphique 1), ces augmentations ne s'expliqueraient pas par un effet quantité, mais seraient la conséquence d'une modification des parts respectives des différentes productions (blé, betterave, colza, pommes de terre, autres produits) au profit de celles bénéficiant de prix plus rémunérateurs⁴. Notons également que sur la période, le chiffre d'affaires augmente plus vite que les consommations intermédiaires, mais moins rapidement que les dépenses relatives à l'utilisation du capital productif⁵.

³ A notre avis, une étude plus satisfaisante aurait nécessité deux conditions supplémentaires : bénéficier d'un échantillon plus grand *via* l'accès au RICA par exemple et bénéficier de données antérieures et postérieures à la réforme Mac Sharry pour tester si les vitesses de rattrapage étaient structurellement différentes entre ces deux phases de politiques agricoles. Cependant, cette étude portée au niveau du RICA aurait posé d'autres problèmes car au niveau régional, nous aurions disposé de moins d'observations homogènes sur une aussi longue période (avant et après 1992).

⁴ Il est malheureusement impossible d'étudier avec précision cette hypothèse, car nous ne disposons pas du détail des quantités et des valeurs par poste de produits.

⁵ Voir, dans la dernière section, la description de la fonction de production pour les définitions précises des indicateurs repris dans ce tableau 1.

Graphique 1. Evolution des rendements (moyenne annuelle de l'échantillon)

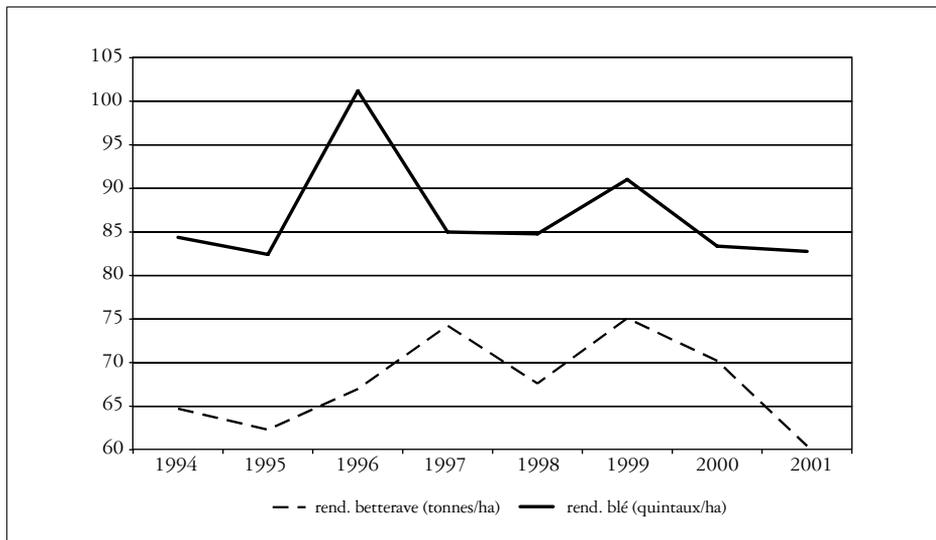


Tableau 1. Statistiques descriptives des données sur la période 1994-2001

	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation	Minimum	Maximum	Croissance annuelle moyenne
Chiffre d'affaires (€ 1994)	225 343	138 343	0,61	24 678	937 601	2,59 %
Consommations intermédiaires (€ 1994)	51 350	31 438	0,61	6 162	185 931	2,04 %
Coût des immobilisations (€ 1994)	38 863	30 100	0,77	1 612	268 997	4,97 %
SAU (ha)	112,24	60,52	0,54	20,80	340,00	1,11 %
UTA (équivalent temps plein annuel)	1,80	0,95	0,53	0,50	6,50	0,73 %

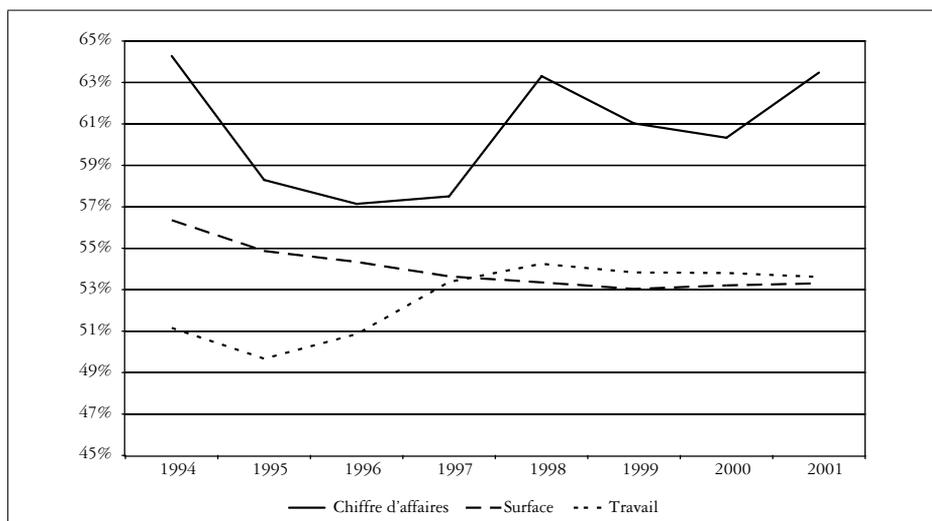
Au-delà de ces premiers résultats, il est intéressant d'examiner comment les dispersions des principales caractéristiques ou des indicateurs de performance des exploitations ont évolué sur la période. Ceux-ci ont-ils convergé ou au contraire divergé ?

Sur des variables comme la taille économique ou la quantité de main d'œuvre, aucun mouvement de convergence significatif ne s'est opéré : les écarts-types rapportés aux moyennes ont fluctué à la baisse ou à la hausse selon les années. En revanche, une réduction d'environ quatre points du coefficient de variation de la taille en hectares s'observe principalement sur le début de période jusqu'à 1999 (graphique 2). Les exploitations augmentent leur superficie tout en réduisant leurs écarts, car les plus petites affichent des taux de croissance de leur superficie supérieurs à ceux des plus

grandes⁶. Sur cette dimension, il y aurait donc un phénomène de rattrapage progressif des exploitations entre elles. Par contre, sur d'autres indicateurs de performances, tels que les rendements à l'hectare ou les ratios économiques et financiers usuellement retenus par les conseillers de gestion (taux de marge brute, taux de charge de structure, taux de profitabilité), aucune tendance significative de convergence ou de réduction des écarts entre les agriculteurs ne se manifeste de manière significative (cf. annexe 1).

Des conditions spécifiques à chaque exploitation (par ex. différences de prix dues à des effets qualité des produits, problèmes financiers, maladies de certaines cultures, aléas micro-climatiques, fertilité des sols liée aux parcelles exploitées) peuvent être à l'origine de l'absence apparente de rattrapage des performances productives et financières agricoles. Malheureusement, il nous est impossible de prendre en compte explicitement ces spécificités dans l'analyse car la base de données ne répertorie pas ce type de variables. De plus, comme nous allons le montrer ultérieurement, ce constat à partir des simples ratios semble trop fruste pour apprécier le phénomène complexe de diffusion technologique. En effet, ces indicateurs ne permettent pas de mesurer correctement la productivité globale des facteurs ni d'en distinguer les composantes essentielles que sont l'efficacité technique et l'efficacité d'échelle⁷.

Graphique 2. Evolution des dispersions entre les exploitations agricoles (coefficient de variation = écart-type/moyenne)



⁶ Les taux de croissance annuels moyens sur l'ensemble de la période sont respectivement de : 1,4 %, 1,1 %, 1,4 % pour les trois premiers quartiles de l'échantillon, alors qu'il n'est que de 0,9 % pour le dernier quartile regroupant les plus grandes exploitations.

⁷ Une troisième composante, l'efficacité allocative, pourrait être mentionnée. Elle résulte des possibilités d'adaptation des processus de production à la structure des prix relatifs. Cependant, compte tenu de l'absence d'information sur les prix, elle ne peut pas être prise en considération dans cette étude.

Productivité globale, efficacité productive et rattrapage technologique

La productivité globale se définit comme le rapport des outputs à l'ensemble des inputs effectifs alors que l'efficacité productive correspond à l'écart entre les quantités minimales d'inputs et les dépenses factorielles observées compte tenu des productions réalisées. Nous allons définir plus précisément ces différents concepts de performance et voir comment leur décomposition permet d'analyser de manière pertinente les différentiels de productivité entre les exploitations agricoles.

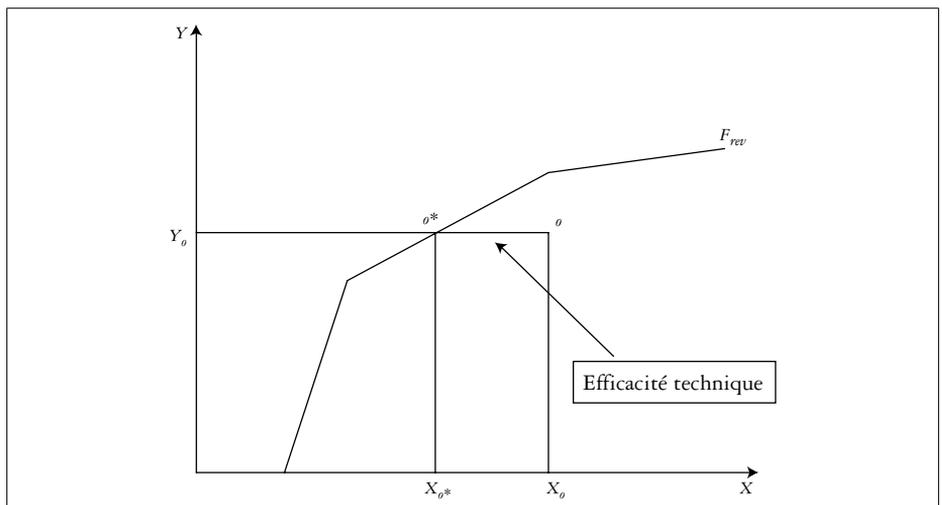
Les définitions des différents types d'efficacité productive

La notion d'**efficacité technique** procède d'une interprétation particulière de la fonction de production. Conçue comme une frontière du possible pour l'entité, elle spécifie le niveau minimal de dotation factorielle nécessaire pour atteindre le niveau de production observé. Cette référence, construite à partir des pratiques des observations les plus performantes du groupe étudié, privilégie la notion d'efficacité relative. Il ne s'agit pas d'une norme absolue. Comme le montre la figure 1, l'efficacité est ainsi mesurée par l'écart de la situation de l'entité à sa frontière de production.

D'après ce schéma, si l'observation o adoptait les meilleures pratiques du groupe déterminées par la frontière à rendements d'échelle variables F_{rev} , elle pourrait réduire ses dotations factorielles de X_o à X_{o^*} tout en maintenant sa production Y_o . Son niveau d'inefficacité relative ($1-z_o$) mesure le pourcentage d'économies réalisables sur l'ensemble de ses inputs avec :

$$\frac{X_{o^*}}{X_o} = z_o$$

Figure 1. Frontière de production et mesure de l'efficacité technique

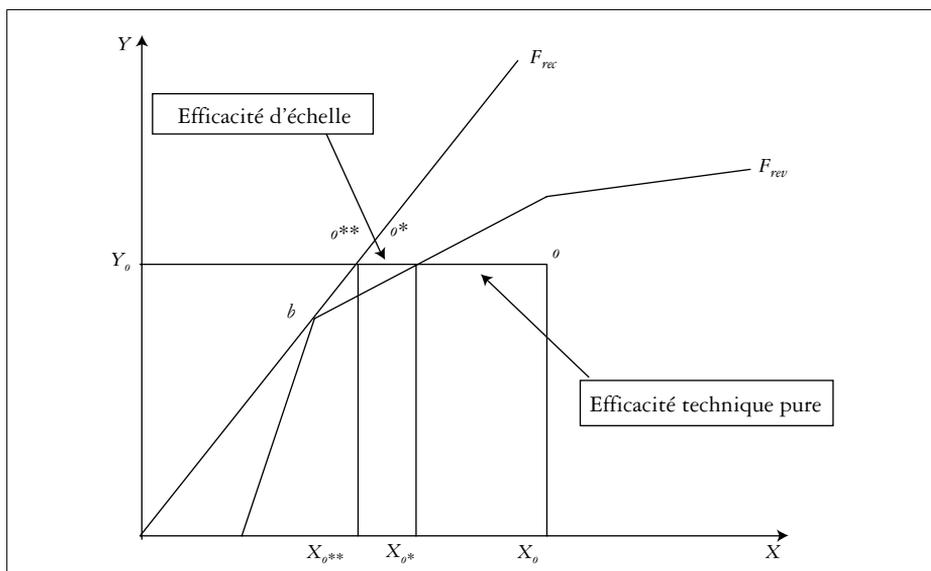


Si l'on cherche à déterminer la **productivité maximale** de la technologie, il faut compléter le schéma précédent par une frontière de production à rendements d'échelle constants et tangente à la précédente frontière.

Dans la figure 2, nous pouvons constater que malgré les efforts de bonne gestion des ressources factorielles en o^* , l'entité o souffre d'une trop grande taille pour obtenir le niveau de productivité maximal observé en b qui détermine sa taille optimale. Pour cela, il est nécessaire de réduire encore les inputs au niveau $X_{o^{**}}$ et projeter o en o^{**} sur la frontière à rendements d'échelle constants F_{rec} . Si l'efficacité technique relative totale est donnée par w_o représentant le ratio entre $X_{o^{**}}$ et X_o , l'expression $(1-w_o)$ mesure l'inefficacité ou le pourcentage d'économies réalisables sur l'ensemble de ses inputs pour atteindre le meilleur niveau de productivité⁸. Cette inefficacité technique totale se décompose en deux éléments, l'**inefficacité technique pure** mesurée comme précédemment par $(1-z_o)$ et l'**inefficacité d'échelle** $(1-v_o)$, tels que :

$$\frac{X_{o^{**}}}{X_o} = w_o, \quad \frac{X_{o^*}}{X_o} = z_o, \quad \frac{X_{o^{**}}}{X_{o^*}} = \frac{w_o}{z_o} = v_o$$

Figure 2. Rendements d'échelle et décomposition de l'efficacité technique totale



⁸ Une approche alternative tout aussi naturelle aurait pu être développée : à savoir maximiser la production en maintenant constantes les ressources factorielles comme la terre ou le travail familial et projeter le point o dans la dimension de Y . Néanmoins, comme la maîtrise de l'offre et la réduction des intrants intermédiaires sont des objectifs assez clairement défendus par les réformes successives de la PAC, nous avons privilégié cette approche dite « minimaliste ». Ceci dit, l'orientation choisie n'affecte pas les résultats lorsque la technologie a des rendements d'échelle constants et ne les modifie quasiment pas lorsque les rendements sont variables : les résultats présentés dans les tableaux 2 et 3 peuvent être comparés à ceux de l'annexe 2 privilégiant l'option « maximaliste ».

La mesure des efficacités productives

Plusieurs approches par les biais de l'économétrie ou de la programmation linéaire permettent de mesurer les différents types d'efficacité définis précédemment⁹. Celle que nous avons retenue est dite déterministe non paramétrique. Elle consiste à évaluer les écarts des observations par rapport à un *benchmark* (ici la frontière de production) grâce à la résolution de programmes linéaires. En construisant, à partir des données retenues, une frontière de production linéaire par morceaux, cette approche est particulièrement adaptée à la modélisation d'une technologie primale multiproduits-multifacteurs, sans passer par la fonction de coût dual présupposant l'absence d'inefficacité technique. Il s'agit d'une méthode ne retenant que les hypothèses de libre disposition des inputs et des outputs et de convexité pour l'ensemble de production. Elle n'impose aucune forme fonctionnelle des fonctions de production et de coût. Cependant, contrairement aux approches stochastiques, la totalité des écarts à la frontière est attribuée à de l'inefficacité, il n'y a pas de terme d'erreur aléatoire.

Dans le cas général de Q produits et de J facteurs, l'ensemble de production P se définit par :

$$P = \{(X, Y) \in R_+^{Q+J} : X \text{ peut produire } Y\},$$

avec Y , un vecteur d'outputs de dimension Q et X , un vecteur d'inputs de dimension J . P est un ensemble fermé et convexe qui satisfait les hypothèses de libre disposition des inputs et des outputs (Färe *et al.*, 1985).

Plus précisément, à chaque période t , l'ensemble de production P défini comme ci-dessus regroupe les couples de vecteurs (X_t, Y_t) correspondant aux données annuelles des exploitations. A partir des hypothèses faites sur cet ensemble, deux frontières technologiques peuvent être construites, l'une à rendements d'échelle constants, l'autre à rendements d'échelle variables. Ces frontières ou ces *benchmarks* sont déterminées par les meilleures pratiques observées dans l'échantillon. Dès lors, les distances de chaque exploitation aux deux frontières technologiques de l'année considérée sont calculées par le biais de programmes linéaires (*cf.* annexe 3) et mesurent ainsi les niveaux d'efficacité technique pure, totale et d'échelle illustrés par la figure 2.

Rattrapage technologique, variations d'efficacité et rendements d'échelle

Cette partie développera successivement deux points essentiels de notre analyse : le modèle de rattrapage ou de diffusion technologique supposant une relation négative entre le taux de croissance de la productivité et son niveau initial (a) et l'importance de la prise en compte des phénomènes d'échelle pour étudier de manière pertinente cette relation (b).

⁹ Le lecteur intéressé par le développement de ces méthodes peut se reporter aux ouvrages de Coelli *et al.* (2002) et Fried *et al.* (1993).

a) Le modèle de rattrapage

Le rattrapage technologique peut se définir comme la tendance structurelle des exploitations agricoles les moins performantes à rattraper les plus efficaces. En identifiant les exploitations ayant adopté les meilleures pratiques d'un point de vue technique et d'échelle comme des *benchmarks* (exploitations formant la frontière), les écarts des autres exploitations à ces frontières mesurent leurs efficacités relatives. Si ces distances diminuent dans le temps, elles révèlent alors un phénomène de rattrapage des performances productives. En d'autres termes, les exploitations les moins efficaces s'alignent progressivement sur les plus performantes s'il existe une corrélation négative et significative entre le niveau initial de la productivité globale des facteurs et son taux de croissance au cours du temps.

Ce processus dynamique signifie que la distance d'une entité à sa frontière de production est à chaque date t déterminée par un effet d'ajustement progressif vers sa valeur d'équilibre (ici la projection de l'exploitation sur la frontière) et que ce rattrapage s'opère sur une période T . Une modélisation simple de cette dynamique consiste à retenir un ajustement log-linéaire partiel d'ordre 1 (Tavéra, 1999) :

$$\ln(p_{i,t}) - \ln(p_{i,t-1}) = \lambda \left[\ln(p_{i,t-1}^d) - \ln(p_{i,t-1}) \right] + \mu_{i,t} \quad (1)$$

$p_{i,t}^d$ et $p_{i,t}$ représentant respectivement les niveaux désiré et effectif de la productivité de l'entité i à la date t , $\mu_{i,t}$ le terme aléatoire.

L'équation (1) stipule que la variation de la productivité dépend de l'écart entre sa valeur effective et son niveau désiré. Sous l'effet des ajustements progressifs, $p_{i,t}$ converge vers $p_{i,t}^d$. Le rattrapage est donc assuré si $\lambda > 0$ et $\lambda < 1$. Dans ce cas, $p_{i,t}^d$ est un attracteur des dynamiques de la productivité. Le paramètre λ mesure l'impact d'un écart entre la valeur effective et la valeur d'équilibre sur la variation temporelle de la performance productive.

Le niveau désiré peut être considéré comme celui observé pour les meilleures pratiques, pondéré éventuellement d'un certain pourcentage G_i évoquant les handicaps structurels ou managériaux spécifiques à chaque entité (par ex. fertilité des sols, positionnement géographique, qualification de la main-d'œuvre, situation financière) considérés comme constants sur toute la période, soit $p_{i,t}^d = G_i \cdot p_{L,t}$, $p_{L,t}$ représentant le niveau de productivité de la projection de l'entité sur le *benchmark* formé par les combinaisons linéaires des meilleures pratiques observées.

$$\ln(p_{i,t}) - \ln(p_{i,t-1}) = \lambda \left[\ln(p_{L,t-1}) - \ln(p_{i,t-1}) \right] + \lambda \cdot \ln(G_i) + \mu_{i,t} \quad (2)$$

En soustrayant cette équation (2) calculée pour l'entité i de celle correspondant à sa projection sur la frontière, nous obtenons que le différentiel de croissance de la

productivité entre l'entité i et sa projection dépend négativement de leur différentiel de niveau de productivité en $t-1$:

$$\text{Ln}(\hat{p}_{i,t}) - \text{Ln}(\hat{p}_{i,t-1}) = \lambda \cdot \text{Ln}(\hat{p}_{i,t-1}) + \alpha_i + 0\hat{\mu}_{i,t} \quad (3)$$

où le « chapeau » désigne le niveau relatif de la variable calculée entre l'entité i et sa projection sur la frontière et α_i l'effet spécifique à chaque entité égale à $\lambda \cdot \text{Ln}(G_i)$.

Or la mesure du différentiel de productivité globale des facteurs $\hat{p}_{i,t}$ n'est rien d'autre que la distance de l'entité i à sa frontière en t . En se référant à nouveau à la frontière de production en rendements d'échelle constants de la figure 2, il est simple de constater que pour l'entité o le différentiel de productivité avec le *benchmark* se mesure par le ratio :

$$\left[\frac{Y_o}{X_o} \right] / \left[\frac{Y_b}{X_b} \right] = \left[\frac{Y_o}{X_o} \right] / \left[\frac{Y_o}{X_{o^{**}}} \right] = \left[\frac{X_{o^{**}}}{X_o} \right] = w_o = \hat{p}_o$$

b) Le rattrapage des performances productives et les rendements d'échelle

Les phénomènes de rattrapage technologique peuvent être correctement appréhendés à partir des variations de la productivité globale des facteurs si la technologie sous-jacente des entités évaluées est à rendements d'échelle constants. En effet, d'après la figure 3, les observations les moins productives H et G , en réduisant leurs écarts à la frontière F_{rec} , augmentent leurs niveaux de productivité globale (Y/X), contrairement à celle déjà située sur le *benchmark* et donc initialement la plus productive (B). Il y a donc clairement un effet de rattrapage entre ces entités¹⁰.

L'analyse du rattrapage des niveaux de productivité directement appréhendée par les variations des ratios outputs/inputs aboutirait aux mêmes conclusions que celle établie à partir des variations des niveaux d'efficacité technique totale. Cependant, si l'on se place sous l'hypothèse plus générale de rendements d'échelle variables, ce n'est plus forcément le cas. La figure 4 l'explique simplement.

Les observations au-dessus de B sont de trop grande taille et opèrent dans la région des rendements d'échelle décroissants ; à l'inverse celles situées en-dessous

¹⁰ Pour simplifier l'illustration graphique et nous concentrer sur le seul élément « variation de l'efficacité » au cours du temps, nous supposons une absence de progrès technique entre les deux dates t et $t+1$, la frontière de production ne se déplace pas. La prise en compte explicite du progrès technique ne modifierait pas l'analyse. En effet, l'équation (3) est basée sur les variations des différentiels de productivité entre l'observation et sa projection sur le *benchmark* au cours de la période. Or le déplacement de la frontière au cours du temps considéré comme le taux de progrès technique est identique pour l'observation considérée et sa projection sur la frontière. Par conséquent, il s'élimine dans le calcul du différentiel de productivité et n'intervient pas dans l'analyse.

Figure 3. Rendements d'échelle constants et rattrapage des niveaux de productivité

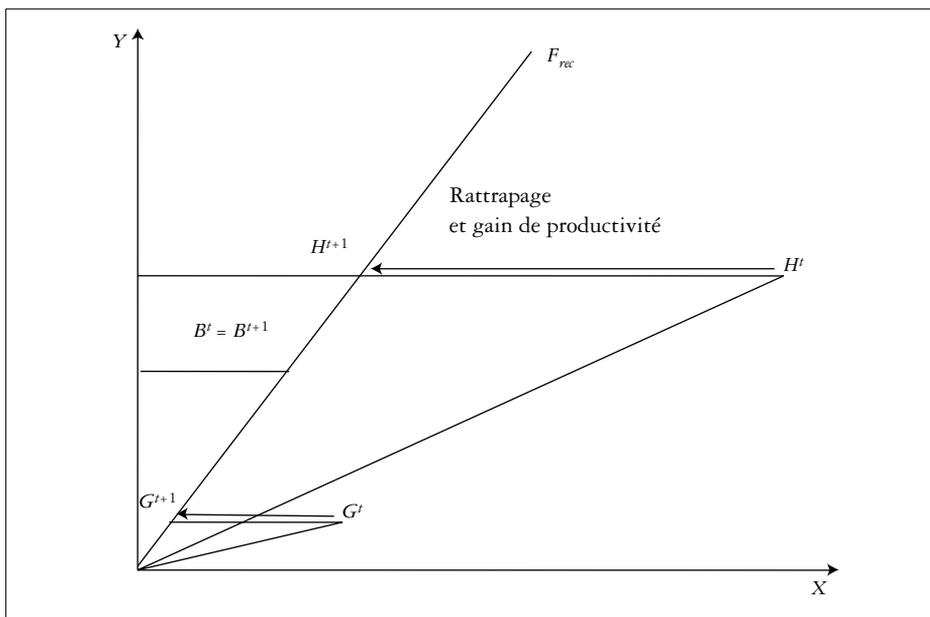
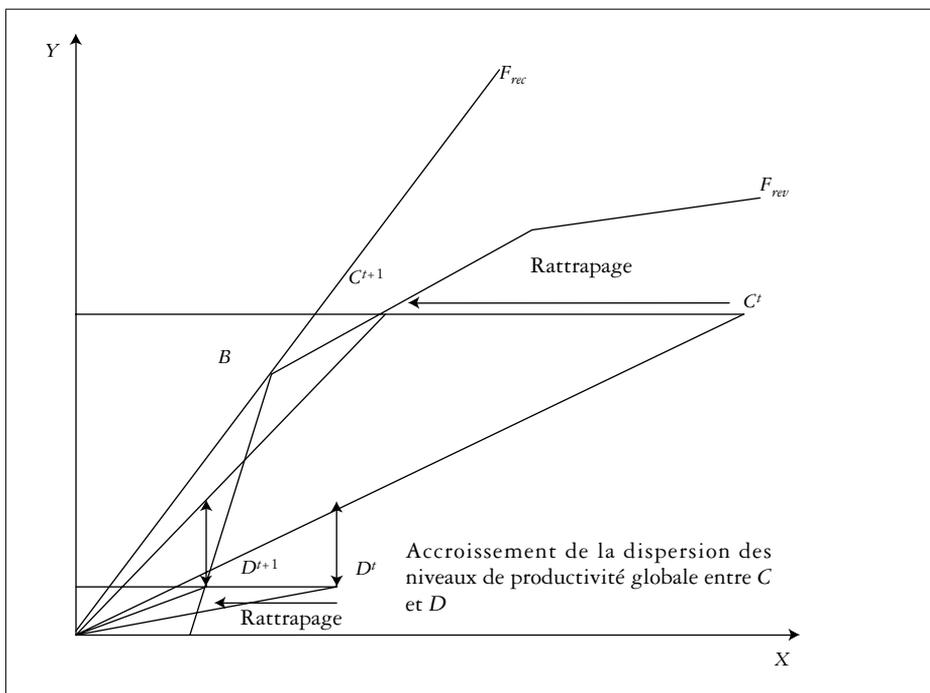


Figure 4. Effets d'échelle et rattrapage technologique



de B sont de trop petite dimension et présentent des rendements d'échelle croissants¹¹. Dans notre exemple l'observation C^t est plus productive que D^t . Supposons qu'à une période ultérieure elles éliminent leurs inefficacités techniques et se projettent respectivement en C^{t+1} et D^{t+1} sur la frontière F_{rev} . Ces mouvements illustrent un réel phénomène de rattrapage des entités à leur équilibre de croissance de long terme situé sur leur frontière de production technique à rendements d'échelle variables, mais la dispersion des niveaux de productivité globale n'a pas diminué ou a même augmenté et le taux de croissance de cet indicateur a été moins rapide pour l'entité initialement la moins productive.

Ainsi, les analyses traditionnelles de la diffusion technologique à partir des indices de productivité imposant implicitement l'hypothèse de rendements d'échelle constants supposent que chaque observation est capable d'obtenir son ratio maximal de productivité sur la frontière F_{rec} . Or, il convient de signaler que ces situations ne sont pas toujours atteignables techniquement étant données les tailles auxquelles opèrent les entités. Le principal apport de ces considérations est le suivant : plus les effets d'échelle demeurent importants sur la période d'analyse, plus les variations des indicateurs de productivité ont une probabilité forte de masquer des phénomènes de rattrapage. C'est pourquoi, dans la perspective d'étudier les effets de diffusion technologique entre les agriculteurs, nous pensons que la notion d'efficacité productive sous l'hypothèse de rendements d'échelle variables apparaît plus appropriée, car plus précise, que les indicateurs de productivité ou que les ratios économiques et financiers usuels. De plus, comme nous avons pu le voir, la prise en compte des variations des écarts à la frontière de production présente aussi l'avantage de comparer chaque entité non seulement à ses propres performances passées, mais aussi aux meilleures pratiques du groupe étudié.

Analyse empirique du rattrapage des performances productives entre les exploitations agricoles

Cette section précise, dans un premier temps, la fonction de production et les variables retenues, puis elle développe les principaux résultats en matière de variations d'efficacité productive et d'effets de rattrapage technologique. Sur ce dernier point, nous tenterons de connecter ces résultats aux conclusions annoncées par des travaux antérieurs relatifs aux effets de la réforme de la PAC de 1992 sur les potentiels de productivité des exploitations françaises de grandes cultures.

¹¹ Au-delà des contraintes imposées par une illustration graphique à deux dimensions, il faut souligner qu'en réalité, la taille optimale B est spécifique à chaque entité. Elle se détermine par

la somme $\sum_{k=1}^K \mu_k$ du [PL2] en annexe 3. Les démonstrations formelles et les aspects

méthodologiques des calculs des tailles optimales par cette approche ont été développés par Banker *et al.* (1984). Une illustration empirique de ces calculs de taille optimale pour chaque entité est disponible dans l'article de Boussemart et Dervaux (1994).

La fonction de production et ses variables

La technologie de ces exploitations spécialisées en grandes cultures du Nord-Pas-de-Calais retient un output et quatre inputs. Toutes les variables exprimées en € sont déflatées par leurs indices de prix respectifs ¹².

- L'output est mesuré par le **chiffre d'affaires** des exploitations qui regroupe le produit de la vente des végétaux et celui, éventuellement, de la vente des animaux.
- **Les consommations intermédiaires** regroupent les charges opérationnelles (engrais, semences, produits phytosanitaires...) et les autres charges (eau, gaz, EDF...).
- **Le coût des immobilisations** regroupe les charges de mécanisation (p. ex. carburants et lubrifiants, matériel et outillages) et de bâtiments (par ex. loyer et charges locatives, entretien et réparations).
- **Le nombre d'hectares exploités** (SAU).
- **Les unités de travailleurs annuels** (UTA) employées sur l'exploitation ¹³.

Résultats et interprétations

A partir de notre échantillon, nous avons construit deux frontières d'efficacité pour chaque année ¹⁴. La première correspond à la frontière d'efficacité technique à rendements d'échelle constants, la seconde à celle sous l'hypothèse des rendements variables. Nous mesurons à l'aide des programmes linéaires présentés en annexe 3 l'efficacité technique totale, l'efficacité technique pure et en déduisons l'efficacité d'échelle. Sur l'ensemble de ces critères, il est donc possible de comparer chaque agriculteur aux autres et à ses performances passées. Si au cours du temps, un agriculteur améliore sa position relative (hausse du score d'efficacité), il diminue sa distance à la frontière considérée et rattrape ainsi la performance des exploitations les plus efficaces définissant le *benchmark*.

Le tableau 2 présente les différents scores d'efficacité. La moyenne de l'efficacité technique totale s'établit autour de 73 %. En d'autres termes, les potentiels de gains de productivité globale seraient de l'ordre de 27 % si les exploitations avaient la possibilité de s'aligner sur les meilleures pratiques observables. Une meilleure gestion

¹² Ces indices de prix sont issus des comptes agricoles départementaux ou nationaux et ne sont pas spécifiques à chacune des exploitations.

¹³ Une UTA représente 2 400 heures de travail par an.

¹⁴ En agriculture, l'aléa climatique peut fortement influencer les résultats. C'est pourquoi, au lieu de calculer un *benchmark* (frontière de production) sur l'ensemble de l'échantillon empilé (178 exploitations pour 8 années), nous avons préféré calculer une technologie de référence différente par année qui prend en compte implicitement la variable climatique annuelle dans la dimension temporelle de notre analyse. Nous supposons que, pour une année donnée, l'effet climat s'impose à toutes les exploitations de la même façon. Cette dernière hypothèse nous apparaît globalement acceptable puisque l'ensemble de nos exploitations sont situées essentiellement dans l'Artois et le Cambrésis, régions naturelles de grandes cultures, géographiquement très proches l'une de l'autre et réputées bénéficier de conditions pédo-climatiques assez similaires.

technique des ressources factorielles (efficacité technique) expliquerait pour 20 % cette marge de progression, tandis que l'adaptation des structures à leur taille optimale (efficacité d'échelle) permettrait de gagner environ 8,7 %¹⁵.

Au cours de la sous-période allant de 1994 à 1997, les performances productives des exploitations s'améliorent progressivement, puis subissent une détérioration conséquente en 1998 pour converger de nouveau vers leur *benchmark* entre 1999 et 2001. Cette évolution chaotique de la dispersion des scores d'efficacité ne permet pas de conclure à un phénomène de rattrapage. En fait, cette rupture de convergence constatée en 1998 peut s'expliquer en partie par plusieurs faits conjoncturels : l'abondance des disponibilités en céréales a provoqué un recul des prix et les écarts des rendements techniques blé et betterave se sont accentués.

Tableau 2. Moyenne et dispersion des différents scores d'efficacité (en %)

	Efficacité technique totale		Efficacité technique pure		Efficacité d'échelle	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1994	64,3	13,3	73,4	14,2	87,6	12,1
1995	75,1	12,3	81,0	11,8	92,7	7,8
1996	74,0	10,9	80,8	10,9	91,5	7,7
1997	77,1	11,3	83,6	10,7	92,2	7,4
1998	67,3	14,1	76,9	13,3	87,4	11,2
1999	74,3	12,6	80,6	11,9	92,1	8,3
2000	76,1	12,3	82,0	11,8	92,8	6,6
2001	75,9	12,7	80,8	11,7	93,9	6,5

Cela signifie-t-il pour autant une absence de rattrapage technologique des exploitations les moins performantes vers les plus efficaces ? La régression de l'équation (4) effectuée pour chacun des trois types d'efficacité permet de répondre à cette interrogation.

$$\ln(e_{i,t}) - \ln(e_{i,t-1}) = -\lambda \cdot \ln(e_{i,t-1}) + \alpha_i + \mu_{i,t} \quad (4)$$

Selon l'hypothèse retenue sur les rendements d'échelle, e mesure les scores d'efficacité technique totale, pure ou d'échelle, l'indice temporel t concerne chaque année de 1995 à 2001 et l'indice i est relatif aux 178 exploitations agricoles.

Avec un tel modèle auto-régressif, les estimateurs usuels within ou à erreurs composées sont non convergents. La régression exige d'utiliser une procédure

¹⁵ La décomposition des scores d'efficacité technique totale étant multiplicative ($w_0 = z_0 \cdot v_0$), les gains de points de productivité par composante technique et d'échelle ne sont pas exactement cumulables à 100 %.

d'estimation particulière avec des variables instrumentales et par la méthode des moments généralisés (Kitazawa, 2003 ; Blanchard, 2005). Plus précisément, nous avons choisi d'instrumenter les niveaux de l'endogène retardée par les différences premières passées successives et tester pour chaque équation la validité des instruments par le test de Sargan/Hansen ¹⁶.

L'interprétation de cette équation, qui relie les taux de croissance annuels moyens des scores des exploitations avec les niveaux initiaux de leurs efficacités, est simple. Plus le niveau initial de la performance technique est faible, plus les exploitations en retard sont incitées à faire des gains de productivité pour rattraper les plus performantes. Le paramètre λ doit être compris entre 0 et 1. Les résultats présentés dans le tableau 3 permettent de constater que la vitesse de rattrapage des exploitations vers leur frontière de production à rendements d'échelle variables est assez rapide (57 %). La régression sur les scores d'échelle indique aussi un effet significatif de convergence des exploitations vers leur taille optimale, du même ordre (55 %). Enfin, l'estimation de l'équation relative à la frontière de production à rendements constants donne une vitesse de rattrapage bien plus lente (16,6 %) et non significative étant donné l'écart-type élevé de l'estimateur.

Tableau 3. Estimations des vitesses de rattrapage selon les différents types d'efficacité

	Efficacité technique totale	Efficacité technique pure	Efficacité d'échelle
α	-0,031 (0,040)	-0,113 (0,044)	-0,043 (0,020)
λ	0,166 (0,138)	0,573 (0,209)	0,552 (0,142)
χ^2	2,459 (78,3 %)	4,583 (46,9 %)	9,486 (9,1 %)

NB : α correspond à la constante commune aux effets spécifiques α_i . Les écarts-types estimés sont entre parenthèses. Le χ^2 correspond à la statistique du test de Sargan sur la validité des instruments, la p-value associée est entre parenthèses.

D'après ces résultats, nous observons donc deux dynamiques de diffusion technologique mais qui n'agissent pas simultanément dans le même sens. Ainsi, comme l'illustre la figure 4, au regard du simple ratio de productivité globale des facteurs, le phénomène de rattrapage n'apparaît pas très significatif sur la période étudiée. En s'appuyant sur l'hypothèse des rendements d'échelle constants, ce ratio ne dissocie pas les variations en ses deux composantes technique et d'échelle dont les dynamiques de rattrapage peuvent se neutraliser. Il n'en reste pas moins que sur

¹⁶ Cette approche présente l'avantage de fournir des estimateurs plus robustes par rapport à d'autres approches possibles qui consistent à estimer l'équation en différences premières avec comme instruments les niveaux passés de l'endogène retardée. Le lecteur intéressé par ces différentes procédures pourra consulter Sevestre (2002).

chacune de ses composantes, il existe bien un réel phénomène de diffusion technique. D'une part, pour certains agriculteurs techniquement moins efficaces, le rattrapage leur permet d'améliorer rapidement la gestion de leurs ressources factorielles à taille donnée. D'autre part, pour d'autres exploitations, c'est une convergence progressive vers leur taille optimale qui s'opère.

C'est ce que prévoyait une précédente recherche sur les gains potentiels de productivité des exploitations céréalières françaises (Vermersch *et al.*, 1992). Elle prédisait que la réforme Mac Sharry constituerait une forte incitation à la réduction des inefficacités techniques. Avec des approches méthodologiques différentes, d'autres études antérieures relatives aux exploitations de grandes cultures avaient aussi anticipé ou observé de tels effets. Colson *et al.* (1995) ont montré que la réforme de la PAC avait un effet différencié favorable aux entreprises les moins performantes. Cependant, leur approche statique appliquait les dispositifs de prix et d'aides aux structures et aux volumes (produits, charges) observés et ne tenait pas compte des capacités d'adaptation des agriculteurs (agrandissement, réduction des intrants). Sur un échantillon du RICA, Bazin *et al.* (1996) ont repéré que ces exploitations de grandes cultures avaient atténué l'impact du gel des terres en s'agrandissant et maintenu en partie leur revenu moyen en diminuant les charges culturales. Dans le cas d'une exploitation type d'Ile-de-France, Carles et Millet (1997) ont estimé qu'un écart de revenu de 113 % pouvait exister entre la situation réelle de 1995 et celle résultant d'une prévision basée sur l'application mécanique des prix et des aides de la réforme de 1992. Au-delà des effets positifs dus aux prix réels supérieurs aux prix anticipés ainsi qu'aux aides non réajustées en conséquence, cet écart positif s'expliquait aussi par l'adaptation progressive de l'exploitation pour obtenir une meilleure compétitivité-coût. L'accroissement de la taille et les économies réalisées sur certaines charges (par ex. engrais, phytosanitaires, travaux par tiers) amélioraient à eux seuls le revenu respectivement de 15 % et de 18 %. A partir d'un modèle bioéconomique appliqué à des exploitations-types de sept régions différentes, Boussard *et al.* (1997) ont révélé que les effets attendus de la réforme de la PAC différaient selon les régions et les structures. La réforme apparaissait favorable aux exploitations ayant les performances techniques les moins élevées. En outre, elle prévoyait le recours à des techniques moins intensives et le recentrage de l'activité autour des cultures qui profitent de bonnes potentialités agronomiques au niveau régional.

Notre analyse dynamique de la productivité globale des facteurs réalisée pour 178 exploitations suivies sur 8 années dans le Nord-Pas-de-Calais renforce donc les résultats de ces précédentes simulations des effets de la réforme. Les mouvements de rattrapage témoignent des adaptations de court et de long termes que les exploitations pérennes ont réalisées face aux changements structurels imposés par le nouveau contexte de la politique agricole commune. Pour contrecarrer les effets naturels des baisses anticipées de prix et certaines mesures de limitation de l'offre ou environnementales (par ex. gel des terres, réduction des intrants), il apparaît donc que les agriculteurs ont dû effectuer des gains d'efficacité technique ou d'échelle. Ces gains apparaissent d'autant plus forts que ceux-ci étaient initialement éloignés de leurs niveaux optimaux.

Conclusion

Les réformes successives de la PAC et leurs conséquences en termes de baisse des prix et de découplage des aides incitent les agriculteurs à réorienter leurs systèmes productifs en s'appuyant davantage sur leurs avantages comparatifs. Au sein d'une même région, les niveaux de productivité doivent donc converger en tendance : les moins performants sont contraints de rattraper les meilleurs s'ils veulent pérenniser leur structure. C'est ce que nous confirment les résultats de notre analyse des différentiels de productivité globale des facteurs. En effet, notre approche par les fonctions de distance non paramétriques apparaît particulièrement adaptée pour appréhender ces phénomènes de rattrapage et de diffusion technologique entre exploitations agricoles. D'une part, elle permet de décomposer le différentiel de productivité globale entre ses deux principales composantes dites technique et d'échelle et révèle ainsi des mouvements de rattrapage passés inaperçus dans les études reprenant les indicateurs usuels partiels : rendements techniques ou ratios financiers. D'autre part, elle présente aussi l'avantage de ne pas retenir a priori d'hypothèses trop restrictives comme le choix d'une forme fonctionnelle particulière (Cobb-Douglas, CES ou autre), l'absence d'inefficacité technique et/ou allocative et les rendements d'échelle constants comme l'imposent les indices de productivité du style Fisher ou Törnqvist établis à partir de méthodes comptables ou économétriques. Enfin, elle propose des comparaisons de performances des exploitations individuelles, non seulement par rapport à leur propre passé, mais aussi par rapport aux meilleures pratiques observées dans le groupe. Dans la poursuite de cette première analyse du rattrapage et de la diffusion technologique entre agriculteurs du Nord-Pas-de-Calais, il serait opportun de s'intéresser plus précisément aux caractéristiques structurelles, socio-économiques et financières des exploitations pouvant fortement conditionner cette convergence.

Bibliographie

- Banker R. D., Charnes A. and Cooper W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, 30 (9), pp. 1078-1092.
- Bazin G., Blogowski A. et Boyer P. (1996). Réforme de la PAC et réduction des inégalités de revenu agricole, premiers effets en France, *Economie rurale*, 232, pp. 20-26.
- Blanchard P. (2005). Estimation d'un modèle dynamique sur données de panel par la méthode des GMM avec SAS-IML, Document de travail ERUDITE, n° 2005-01, Université Paris XII - Val de Marne.
- Boussard J.-M., Boussemart J.-P., Flichman G., Jacquet F. et Lefer H.-B. (1997). Les effets de la réforme de la PAC sur les exploitations de grande culture, *Economie rurale*, 239, pp. 20-29.

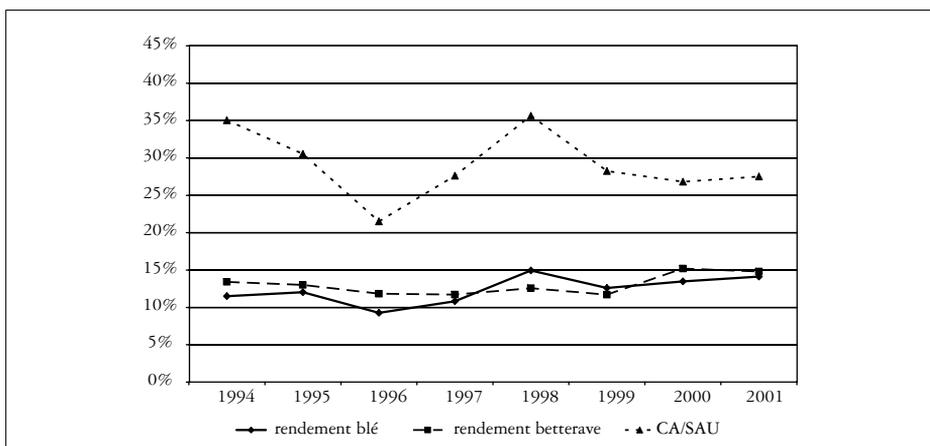
- Boussemart J.-P., Dervaux B. (1994). Diagnostic de l'efficacité productive par DEA : application à des élevages porcins, *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, 31, pp. 44-58.
- Carles R., Millet G. (1997). Nouvelle PAC : l'exploitation de grande culture en Ile-de-France de 1991 à 1995, *Economie rurale*, 241, pp. 18-25.
- Coelli T., Rao D.S.P. and Battese G. (2002). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Boston, Kluwer Academic Publishers, 275 p.
- Colson F., Chatellier V. et Ulmann L. (1995). Réforme de la PAC et répartition des paiements directs aux exploitations agricoles, *Economie rurale*, 227, pp. 11-20.
- Färe R., Grosskopf S. and Lovell C.A.K. (1985). *The Measurement of Efficiency Production*, Boston, Kluwer-Nijhoff Publishing, 216 p.
- Farrell M.J. (1957). The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, Part 3, 120, pp. 253-282.
- Flichman G. (1995). Analysis of the socio-economic impact of agricultural reform in certain European regions : Competitiveness and environmental protection, Final report for European Communities, Contract n° 4706A, Paris, 71 p.
- Fried H.O., Lovell C.A.K. and Schmidt S.S. (1993). *The Measurement of Productive Efficiency : Techniques and Applications*, New York, Oxford University Press, 427 p.
- Jacquet F., Tyner W.E. et Gray A.W. (2004). La stabilisation du revenu des agriculteurs : un objectif central dans les politiques américaine et européenne, *Economie rurale*, 281, pp. 5-23.
- Kitazawa Y. (2003). Website of examples of dynamic panel data estimation using TSP, www.ip.kyusan-u.ac.jp/J/keizai/kitazawa/SOFT/TSP_DPD1/index.htm
- Lefer H.-B., Blaskovic H. (1994). Les modèles de simulation technico-économiques comme méthodes d'analyse des différentes politiques agricoles, *Economie rurale*, 2, pp. 45-51.
- Piot I. (1994). Mesure non paramétrique de l'efficacité, *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, 31, pp. 13-41.
- Sevestre P. (2002). *Econométrie des données de panel*, Paris, Dunod, 211 p.
- Tavéra C. (1999). Convergence au sens de Maastricht, convergence économique et convergence structurelle, concepts et tests économétriques, in: *La convergence des économies européennes*, Paris, Economica, chapitre 1, pp. 19-52.
- Vermersch D., Boussemart J.-P., Dervaux B. et Piot I. (1992). *Réforme de la Politique agricole commune. Evolution des rendements entre inefficacité technique et prix-efficacité*, Rennes, INRA, Economie et Sociologie Rurales, décembre, 106 p.

ANNEXE 1

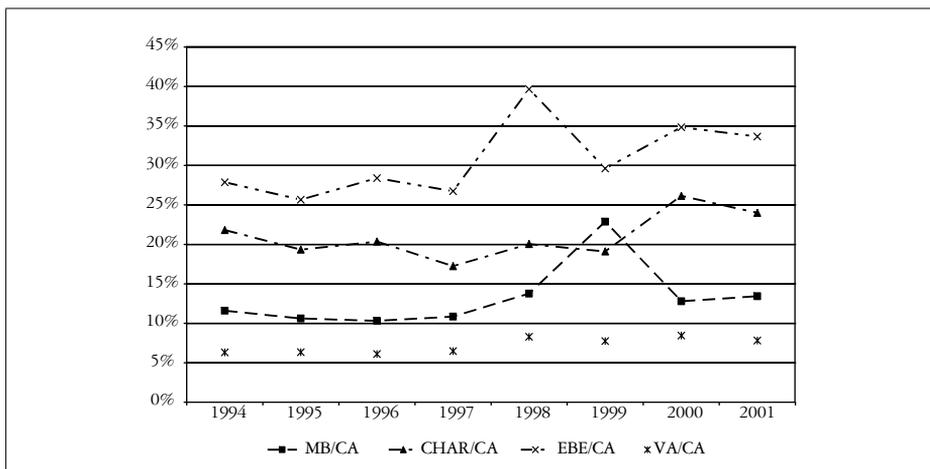
Les évolutions des écarts des indicateurs technico-économiques

Les rendements techniques ont une légère tendance à diverger tant pour le blé que pour la betterave (graphique 3). On observe une réduction sensible des écarts du chiffre d'affaires par hectare (CA/SAU) sur les deux premières années ; toutefois à partir de 1997, ils augmentent pour à nouveau diminuer en fin de période. En ce qui concerne les autres ratios financiers comme le taux de valeur ajoutée (VA/CA), le taux de marge brute (MB/CA), le taux de charge de structure (CHAR/CA) ou encore le taux de profitabilité mesuré par le rapport de l'excédent brut d'exploitation aux ventes (EBE/CA), aucune tendance significative de convergence n'apparaît (graphique 4).

Graphique 3. Evolution des coefficients de variation des rendements techniques et économiques



Graphique 4. Evolution des coefficients de variation des ratios financiers



ANNEXE 2

**Les résultats avec le calcul de la frontière de production
dans la dimension des outputs (maximisation de l'output sous contrainte
des niveaux observés de dépenses factorielles)**

Tableau 2 bis. Moyenne et dispersion des différents scores d'inefficacité (en %)

	Inefficacité technique totale		Inefficacité technique pure		Inefficacité d'échelle	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1994	155,51	32,09	143,72	32,64	108,21	17,61
1995	133,12	23,08	125,63	22,03	105,97	10,37
1996	135,20	19,77	125,30	18,78	107,90	11,62
1997	129,76	20,66	121,04	18,58	107,20	9,03
1998	148,69	34,57	135,74	30,92	109,54	16,36
1999	134,62	24,98	126,03	22,90	106,81	10,38
2000	131,40	21,80	123,39	21,03	106,49	7,81
2001	131,73	22,83	126,12	21,70	104,45	6,61

NB : Les scores sont supérieurs à 1 et s'expriment en terme d'inefficacité par rapport à la norme 100. Sous l'hypothèse des rendements d'échelle constants, pour chaque entité, l'inefficacité technique totale est exactement égale à l'inverse de l'efficacité technique totale calculée dans la dimension des inputs avec l'approche minimaliste. Ce résultat n'est plus forcément vrai sous l'hypothèse des rendements variables.

Tableau 3 bis. Estimations des vitesses de rattrapage selon les différents types d'inefficacité

	Inefficacité technique totale	Inefficacité technique pure	Inefficacité d'échelle
α	0,031 (0,040)	0,080 (0,035)	0,022 (0,013)
λ	0,166 (0,138)	0,350 (0,153)	0,296 (0,087)
χ^2	2,459 (78,3 %)	5,704 (33,6 %)	12,553 (2,8 %)

NB : Les résultats relatifs à l'inefficacité technique totale sont strictement équivalents à ceux de la même colonne du tableau 3 (hormis le signe de la constante) du fait que le score d'inefficacité est égal à l'inverse du score d'efficacité sous l'hypothèse des rendements d'échelle constants.

ANNEXE 3

Les programmes linéaires mesurant les scores d'efficacité

On établit le diagnostic d'efficacité technique pure (hypothèse des rendements d'échelle variables) d'une entité particulière o parmi les K observations appartenant à l'ensemble P grâce au programme linéaire suivant :

$$\begin{aligned}
 & \underset{(z_o, \mu)}{\text{Min}} z_o \\
 & \text{sous les contraintes} \\
 & i) \sum_{k=1}^K \mu_k \cdot Y_k^q \geq Y_o^q, \forall q \in \{1, 2, \dots, Q\} \\
 & ii) \sum_{k=1}^K \mu_k X_k^j \leq z_o \cdot X_o^j, \forall j \in \{1, 2, \dots, J\} \quad [\text{PL1}] \\
 & iii) \sum_{k=1}^K \mu_k = 1 \\
 & iv) \mu_k \geq 0, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}
 \end{aligned}$$

L'interprétation de ce programme linéaire est simple. Si l'entité évaluée o est efficace, alors le coefficient z_o vaut 1, $\forall k \neq o, \mu_k = 0$ et $\mu_o = 1$. Il est alors impossible de trouver, dans l'ensemble de référence, une autre firme ou une combinaison de firmes produisant autant (ou plus) de chacun des biens (respect des contraintes i) et utilisant une quantité moins importante d'un facteur (respect des contraintes ii). Le coefficient z_o s'applique à l'ensemble du vecteur des inputs et s'assimile à un coefficient d'utilisation des ressources. Il s'agit d'une mesure radiale de l'efficacité (Farrell, 1957).

En imposant des rendements d'échelle constants à la frontière de production, il est possible de mesurer la productivité globale combinant l'efficacité technique pure et l'efficacité d'échelle de l'entité. Pour ce faire, il faut simplement retirer au programme [PL1] la contrainte (iii).

$$\begin{aligned}
 & \underset{(w_o, \mu)}{\text{Min}} w_o \\
 & \text{sous les contraintes} \\
 & i) \sum_{k=1}^K \mu_k \cdot Y_k^q \geq Y_o^q, \forall q \in \{1, 2, \dots, Q\} \\
 & ii) \sum_{k=1}^K \mu_k X_k^j \leq w_o \cdot X_o^j, \forall j \in \{1, 2, \dots, J\} \quad [\text{PL2}] \\
 & iv) \mu_k \geq 0, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}
 \end{aligned}$$

Grâce aux résolutions successives des programmes linéaires [PL1] et [PL2], le diagnostic s'affine et permet de mesurer trois scores d'efficacité :

- w_o : le **score d'efficacité technique totale** du programme correspondant au ratio de productivité maximale et à la projection o^{**} de l'observation o sur la frontière à rendements d'échelle constants F_{rec} (cf. figure 2),
- z_o : le **score d'efficacité technique pure** correspondant à la projection o^* de l'observation o sur la frontière à rendements d'échelle variables F_{rev} (cf. figure 2),
- v_o : le **score d'efficacité d'échelle** égal au rapport w_o/z_o .