

APPEL A COMMUNICATION
5èmes Journées de recherches en sciences sociales
à AgroSup Dijon, les 8, 9 et 10 décembre 2011

**Analyse de l'efficiencia éco-environnementale des exploitations laitières
réunionnaises**

David Berre

LEM-IÉSEG School of Management, 3 rue de la Digue, Lille, d.berre@ieseg.fr

Stéphane Blancard

AGROSUP Dijon, UMR 1041 CESAER, F-21000 Dijon, France, stephane.blancard@dijon.inra.fr

Jean-Philippe Boussemart

Université Lille 3 et LEM-Ieseg-School of Management, Lille, jp.boussemart@ieseg.fr

Hervé Leleu

CNRS/LEM et IÉSEG School of Management, 3 rue de la Digue, Lille, h.leleu@ieseg.fr

Emmanuel Tillard

UMR SELMET/ CIRAD La Réunion. Ligne Paradis, St Pierre. tillard@cirad.fr

Résumé

Grâce aux avancées méthodologiques sur la prise en compte des outputs indésirables dans la modélisation des technologies de production, cet article permet d'évaluer l'éco-efficience de 51 exploitations laitières de La Réunion selon le point de vue de trois acteurs : l'éleveur, la coopérative et la société. Si l'analyse retient le scénario désirée par la société comme celui conforme à la plus forte diminution des quantités globales d'outputs indésirables, on constate néanmoins qu'en termes d'indicateurs environnementaux (excédent azoté/litre de lait et gaz à effet de serre émis/litre de lait), le scénario de la coopérative qui vise à maximiser la production laitière aboutit aux mêmes ordres de grandeur. Cependant, l'augmentation des coûts suggérée par ce dernier scénario pourrait être un frein à sa mise en œuvre, compte tenu des charges déjà très élevées auxquelles font face les producteurs réunionnais. La vision de l'éleveur souhaitant améliorer sa productivité globale à dotations factorielles constantes apparaît alors comme satisfaisante en permettant une progression assez significative de la production à niveau de gaz à effet de serre (GES) et d'excédents azotés (EA) inchangé.

Classification JEL : D57, Q12, Q16, Q51

Mots clés : Agriculture, outputs indésirables, fonction distance, Data Envelopment Analysis, gaz à effet de serre, azote.

Cette recherche a été financée par l'Agence Nationale de la Recherche sur le projet « Efficience Environnementale et Productions animales pour le développement durable », décision n° ANR-09-STRA-01. Le Ministère de l'Outre-Mer français a également financé une action de recherche sur l'évaluation de l'efficience éco-environnementale des élevages laitiers à la Réunion qui a permis d'assurer la récolte des données utilisées dans cette étude.

1 Introduction

L'élevage laitier à La Réunion a connu un essor considérable notamment sous l'impulsion de la SICA Lait (Société d'Intérêt Collectif Agricole) créée en 1962. Cette coopérative laitière avait pour missions initiales la collecte, la transformation et la commercialisation de la production. Dans les années 80, la mise en œuvre du « plan d'aménagement des Hauts »¹ permettra à la SICA Lait de se lancer dans une véritable politique de développement grâce à l'installation de nombreux élevages. Parallèlement, de nouvelles structures ont émergé dans la filière ; certaines se consacrant à l'encadrement, l'approvisionnement et l'appui technique (l'URCOOPA, l'ARP et l'EDE), d'autres à la transformation et la commercialisation des produits laitiers reprenant ainsi quelques missions de la SICA Lait (la CILAM²).

La croissance du nombre d'élevages s'est également accompagnée de celle de leur productivité. En effet, l'amélioration génétique, la spécialisation des ateliers, l'utilisation accrue d'intrants alimentaires et le recours à l'insémination artificielle ont permis d'augmenter considérablement la technicité des éleveurs et la production laitière locale (production non limitée par des quotas). Conjointement à cette augmentation de la production, la sensibilisation aux produits laitiers (comme par exemple dans les cantines scolaires) alliée à une forte croissance démographique a entraîné une augmentation de la demande sur ce marché. Cette stratégie d'intensification des élevages a permis de tripler la production laitière entre 1990 et 2006 pour atteindre une production de 24,6 millions de litres et un taux de couverture du marché local de 15 % (DAAF-Réunion).

Cependant, cette hausse de la production s'est interrompue et le volume de lait produit à La Réunion affiche une baisse régulière depuis 3 ans (24 millions de litre en 2007 puis 22,7 millions en 2008). La volatilité du prix des céréales explique en grande partie cette diminution de production. En effet, les élevages Réunionnais disposent de peu de surface agricole et incorporent d'avantage d'aliments concentrés que ne le font les élevages de métropole pour atteindre leurs objectifs de production. Souvent contraints de puiser dans leur épargne personnelle ou d'avoir recours à de nouveaux emprunts, 10 % des éleveurs ont cessé leur activité entre 2008 et 2009 suite à des difficultés économiques. Bien que la productivité par vache laitière n'ait pas évolué (6 165 litres par an), ces cessations d'activité ont entraîné une baisse de la production, compensée par une augmentation des importations (+ 29% en 4 ans) également due à la croissance démographique et à l'augmentation de la demande en produits laitiers.

L'élevage à La Réunion est ainsi à une période charnière de son développement. En effet, bien que les outils de production mis en place dans les années 90 aient permis d'accroître la production et de développer la filière laitière, les élevages butent actuellement sur le prix d'intrants coûteux mais aussi très variables. Si la SICA Lait souhaite atteindre l'objectif d'une production laitière de 35 millions de litres en 2015 (Fédération Régionale des Coopératives Agricoles de La Réunion - FRCA, 2011), elle devra mener avec l'ensemble de ses partenaires une réflexion globale sur les conditions d'émergence de systèmes de production durables.

¹ On parle des **Hauts** pour désigner l'ensemble des sites de La Réunion qui ne sont pas littoraux, soit une vaste zone couvrant l'essentiel de l'île et dont le relief est escarpé.

² URCOOPA : Union Régionale des coopératives agricoles réunionnaises ; ARP : Association Réunionnaise de Pastoralisme ; EDE : Etablissement départemental d'élevage ; CILAM : Compagnie Laitière des Mascareignes

La réflexion sur l'avenir des élevages laitiers à La Réunion s'inscrit dans un contexte national et international en plein bouleversement. A l'échelle nationale, les Etats Généraux de l'Outre-Mer (EGOM) sont nés d'une volonté politique de réagir aux crises traversées par la Guadeloupe et la Martinique. Ils ont pour objectif de repenser les modèles d'organisation des DOM imaginés depuis 1946. Les conclusions des EGOM pour La Réunion mettent en évidence la nécessité « d'inciter à la consommation de produits locaux », de « rendre éligibles aux aides aux intrants les produits ou matières premières nécessaires à la production locale en provenance de pays non européens », de « gagner 10 % de part de marché en 10 ans » ... Cette volonté nationale conforte le besoin d'augmenter l'autosuffisance de La Réunion, par un développement durable des productions domestiques.

A l'échelle internationale, l'élevage est mis en cause en raison de ces impacts importants sur l'environnement (« livestock's long shadow », FAO), notamment les émissions de gaz à effet de serre (GES) responsables du réchauffement climatique. En effet, le rapport de l'ONU attribue 18 % des émissions totales de gaz à effet de serre d'origine anthropique au secteur des productions animales. La demande de plus en plus importante des pays émergents en produits animaux met en exergue le rôle primordial que devra jouer l'élevage dans le développement de ces pays. En effet, au-delà de sa fonction de production de produits carnés et laitiers, l'élevage fournit nombre de services (valorisation des territoires, épargne, stockage de carbone...).

C'est dans ce contexte que cette étude tente de définir les voies d'améliorations éco-environnementales des élevages laitiers à La Réunion. En s'appuyant sur des données structurelles et environnementales récoltées chez 51 éleveurs laitiers en 2007 (49% des adhérents à la SICA Lait produisant 61% de la production réunionnaise) et sur un modèle d'activités multi-produits multi-facteurs, nous mesurons les marges de progression de la production laitière et les réductions simultanées en GES et en excédents azotés (EA).

Grâce aux apports méthodologiques des fonctions distance directionnelle (Chambers et al., 1998) et à la modélisation rigoureuse de l'hypothèse de faible disposition des outputs indésirables (Kuosmanen, 2005 ; Podinovski et Kuosmanen, 2011), notre approche permet d'une part d'examiner différents points de vue d'acteurs de la filière (coopérative, producteurs et société) et d'autre part d'intégrer explicitement les effluents et les coproduits indésirables d'élevages (EA et GES) comme des externalités négatives corrélées à la production laitière. Plus explicitement dans cette application, nous considérons que l'évolution de la performance éco-environnementale de la filière est étroitement dépendante des objectifs spécifiques des trois acteurs :

- **la coopérative** qui vise à développer le plus possible la production laitière par une augmentation des capacités de production mais à surface donnée (forte contrainte foncière à La Réunion) et à niveaux d'émissions de GES et d'excédent azoté constant.
- **les éleveurs** qui recherchent à augmenter leur revenu sans accroître leur niveau de charges déjà considéré comme trop lourd par une réduction de leurs inefficacités productives, toujours en conservant les indicateurs environnementaux constant.
- **la société** qui souhaite une réduction maximale des émissions (GES et EA) liées à la production tout en conservant les bénéfices acquis de cette activité pour le développement économique du département (maintien de l'emploi, valorisation du territoire, approvisionnement local...).

La section 2 développe le modèle retenu en insistant notamment sur les apports des fonctions de distance directionnelle dans la prise en compte du point de vue de chacun des acteurs ainsi que sur la nécessaire hypothèse de faible disposition pour intégrer convenablement des outputs non désirés dans une technologie de production. La section 3 présente la base de données et les résultats obtenus en termes de progression de la production et de réduction des coproduits indésirables. Nous quantifions ainsi les évolutions du revenu des éleveurs et les coûts environnementaux associés selon les objectifs poursuivis respectivement par les trois acteurs. La section 4 discute ces principaux résultats et conclut par quelques réflexions sur l'évolution de la filière Lait à La Réunion.

2 Modélisation des technologies par les fonctions distances

Depuis une trentaine d'années, on assiste à un fort développement de travaux aussi bien d'ordre théorique qu'empirique sur les mesures de l'inefficacité productive. Ils confirment leur portée opérationnelle dans les méthodes d'évaluation de la performance managériale et de l'analyse de la productivité pour une très grande diversité de secteurs d'activités et de type d'organisations (Cooper et al., 2005, 2006 ; Fried et al., 2008). Un développement important a été la prise en compte d'une production indésirable jointe à une production désirable dans le processus de production. Les premières contributions ont été celle de Tyteca (1996) et de Färe et al. (1996).

La frontière de production qui décrit le processus de production des entités techniquement efficaces et la mesure des écarts des entités par rapport à ce benchmark peuvent être estimées par plusieurs types de fonctions distances. En règle générale, ces fonctions se distinguent selon quelles sont *i*) paramétriques ou non paramétriques et *ii*) stochastiques ou déterministes. Contrairement aux fonctions paramétriques, les approches non paramétriques ne stipulent aucune relation fonctionnelle a priori entre les inputs et les outputs des entités évaluées. Par rapport aux frontières déterministes, les fonctions stochastiques intègrent quant à elles un terme aléatoire supplémentaire dans l'écart du point au benchmark³ et en conséquence n'attribue pas toute la distance à de l'inefficacité.

Cependant, ces mesures d'inefficacité productive dépendent des objectifs recherchés par les entités évaluées que l'on peut modéliser par des choix de direction de projection sur la frontière de production. A chaque direction retenue, correspond un objectif spécifique : maximisation de la production désirée ou minimisation des outputs indésirables, optimisation des plans de production. Ainsi grâce aux fonctions distance directionnelle, il est possible de distinguer des mesures de productivité en fonction des différents points de vue des acteurs impliqués dans les choix de production et d'allocations des ressources. De plus en retenant l'hypothèse de faible disposition, les fonctions distance directionnelle sont capables de prendre en compte explicitement les effets des outputs indésirables sur l'évaluation de la productivité globale. La difficulté de modéliser ce type d'outputs comme les GES ou l'EA vient du fait qu'ils sont directement joints à la production désirée et qu'ainsi leur diminution qui est souhaitable aura forcément un coût en termes d'output désirable.

³ Se référer à Coelli et al (2005) pour une typologie des frontières de production.

2.1 Fonctions distance directionnelle et faible disposition des outputs indésirables

Considérons un groupe de N entreprises produisant chacune G bons outputs et B outputs indésirables avec V facteurs variables et F facteurs fixes auxquels nous pouvons associer les ensembles d'indices respectifs :

$$\mathfrak{N} = \{1, \dots, N\}, \mathfrak{G} = \{1, \dots, G\}, \mathfrak{B} = \{1, \dots, B\}, \mathfrak{V} = \{1, \dots, V\} \text{ et } \mathfrak{F} = \{1, \dots, F\}$$

avec $y^G = (y^1, \dots, y^G) \in \mathbf{R}_+^G$ $y^B = (y^1, \dots, y^B) \in \mathbf{R}_+^B$ $x^V = (x^1, \dots, x^V) \in \mathbf{R}_+^V$ et $x^F = (x^1, \dots, x^F) \in \mathbf{R}_+^F$ les quantités respectives d'outputs et d'inputs.

La technologie de production se définit par :

$$T = \left\{ (x^V, x^F, y^G, y^B) \in \mathbf{R}_+^{V+F+G+B} : (x^V, x^F) \text{ peut produire } (y^G, y^B) \right\} \quad (1)$$

T est un ensemble fermé et convexe qui satisfait les hypothèses de libre disposition des inputs et des bons outputs et de faible disposition pour les outputs indésirables (Chung et al., 1997). Nous avons construit le modèle en considérant que la réduction des outputs indésirables est coûteuse grâce à l'hypothèse de faible disposition. Cette hypothèse stipule qu'une réduction des outputs indésirables n'est possible que par une réduction simultanée des bons outputs, à niveau d'inputs constant. De plus, nous émettons l'hypothèse que les bons outputs répondent à l'hypothèse de libre disposition. Enfin, la notion liant les bons outputs et les indésirables est modélisé par l'intégration de l'origine dans notre ensemble d'output. En d'autres termes, les bons outputs sont joints par la « relation-nulle » aux outputs indésirables si le seul moyen de ne produire aucun output indésirable est de ne produire aucune production désirée. On comprend alors que dès qu'une quantité de bons outputs est produite, elle s'accompagne de la production d'outputs indésirables.

Avec ces hypothèses, T peut désormais s'écrire :

$$T = \left\{ \begin{array}{l} (x^V, x^F, y^G, y^B) : \theta \sum_{n \in \mathfrak{N}} \mu_n y_n^g \geq y^g \geq 0, \forall g \in \mathfrak{G} \\ \theta \sum_{n \in \mathfrak{N}} \mu_n y_n^b = y^b, \forall b \in \mathfrak{B} \\ \sum_{n \in \mathfrak{N}} \mu_n x_n^v \leq x^v, \forall v \in \mathfrak{V} \\ \sum_{n \in \mathfrak{N}} \mu_n x_n^f \leq x^f, \forall f \in \mathfrak{F} \\ \mu_n \geq 0, \forall n \in \mathfrak{N} \\ \sum_{n \in \mathfrak{N}} \mu_n = 1 \\ 0 \leq \theta \leq 1 \end{array} \right\} \quad (2)$$

Le paramètre θ représente un facteur d'abattement qui permet la réduction simultanée et dans la même proportion des outputs désirables et indésirables. Cependant, cette approche traditionnelle de la modélisation de l'hypothèse de faible disposition des outputs indésirables due à Shephard (1974) ne permet pas de construire une technologie convexe (Kuosmanen, Podinovski, 2009). Pour rétablir cette hypothèse de convexité, Kuosmanen (2005) propose un modèle alternatif en introduisant des facteurs d'abattement spécifiques à chaque plan de production observé. Par ailleurs, par un changement de variable adéquat, cet auteur démontre la linéarité de son modèle et par ce biais son implémentation opérationnelle par les fonctions distance directionnelle et la méthode DEA.

$$T = \left\{ \begin{array}{l} (x^V, x^F, y^G, y^B) : \sum_{n \in \mathfrak{N}} \theta_n \mu_n y_n^g \geq y^g \geq 0, \forall g \in \mathfrak{G} \\ \sum_{n \in \mathfrak{N}} \theta_n \mu_n y_n^b = y^b, \forall b \in \mathfrak{B} \\ \sum_{n \in \mathfrak{N}} \mu_n x_n^v \leq x^v, \forall v \in \mathfrak{V} \\ \sum_{n \in \mathfrak{N}} \mu_n x_n^f \leq x^f, \forall f \in \mathfrak{F} \\ \mu_n \geq 0, \forall n \in \mathfrak{N} \\ \sum_{n \in \mathfrak{N}} \mu_n = 1 \\ 0 \leq \theta_n \leq 1, \forall n \in \mathfrak{N} \end{array} \right\} \quad (3)$$

L'association d'une fonction distance directionnelle à la technologie décrite en (3) s'établit comme suit :

$$\bar{D}(x^V, x^F, y^G, y^B) = \sup \left\{ \alpha / \left(x^V + \alpha d^{x^V}, x^F, y^G + \alpha d^{y^G}, y^B + \alpha d^{y^B} \right) \in T \right\} \quad (4)$$

Les vecteurs d^{x^V} , d^{y^G} et d^{y^B} spécifient les directions respectives en inputs et outputs dans lesquelles l'entité évaluée est projetée sur la frontière de production. Par exemple, dans le cas d'une mesure radiale de l'efficacité visant à maximiser les bons outputs tout en maintenant constant les inputs et les outputs indésirables, les coordonnées du vecteur d^{y^G} sont égales aux quantités de l'entité évaluée, les vecteurs d^{x^V} et d^{y^B} sont nuls. Inversement, dans le cas d'une mesure radiale de l'efficacité visant à minimiser les outputs indésirables tout en maintenant constants les bons outputs et les inputs, les coordonnées du vecteur d^{y^B} sont égaux aux opposés des quantités de l'entité évaluée, les vecteurs d^{x^V} , d^{y^G} sont nuls. Bien sûr, toute autre direction peut être choisie par l'évaluateur en fonction de son objectif d'analyse.

L'utilisation de cette fonction distance directionnelle générale associée à la technologie de production (3) permet d'établir le programme linéaire suivant (Kuosmanen, 2005) pour l'évaluation d'une entité a donnée :

$$\begin{aligned}
\vec{D}(x_a^V, x_a^F, y_a^G, y_a^B) &= \text{Max } \alpha_a \\
\sum_{n \in \mathcal{N}} \lambda_n y_n^g &\geq y_a^g + \alpha_a d^g, \forall g \in \mathcal{G} \\
\sum_{n \in \mathcal{N}} \lambda_n y_n^b &= y_a^b + \alpha_a d^b, \forall b \in \mathcal{B} \\
\sum_{n \in \mathcal{N}} (\lambda_n + \omega_n) x_n^v &\leq x_a^v + \alpha_a d^v, \forall v \in \mathcal{V} \quad (5) \\
\sum_{n \in \mathcal{N}} (\lambda_n + \omega_n) x_n^f &\leq x_a^f, \forall f \in \mathcal{F} \\
\sum_{n \in \mathcal{N}} (\lambda_n + \omega_n) &= 1 \\
\omega_n &\geq 0, \forall n \in \mathcal{N} \\
\lambda_n &\geq 0, \forall n \in \mathcal{N}
\end{aligned}$$

avec respectivement y_a^g, y_a^b, x_a^v et x_a^f les bons outputs g , les outputs indésirable b , les inputs variables v et les inputs fixes f de la firme a . En posant $\mu_n = \omega_n + \lambda_n$ et $\lambda_n = \theta_n \mu_n, \forall n$, on retrouve les coefficients d'intensité d'un programme usuel DEA pour les inputs et l'intégration des facteurs d'abattement θ_n de T (3) pour les outputs. Les vecteurs ω et λ sont calculés à partir des combinaisons linéaires convexes des meilleures firmes observées formant le benchmark de référence ou la frontière de production. Le coefficient α_a s'applique à l'ensemble des vecteurs des outputs et des inputs et mesure le pourcentage d'augmentation et/ou de réduction sur les outputs et les ressources factorielles par rapport aux directions d^{x^v}, d^{y^g} et d^{y^b} choisies.

2.2 Directions de projection et objectifs spécifiques des acteurs.

Les formulations générales de la fonction distance (4) et du programme linéaire (5) peuvent se décliner en plusieurs cas correspondant aux intérêts respectifs des acteurs impliqués dans l'évaluation des plans de production observés. En retenant trois principaux acteurs que sont les éleveurs, la coopérative et la société, il est possible de mesurer les marges de progression (production laitière et indices environnementaux) selon leurs points de vue modélisés explicitement par les directions de projection.

2.2.1 Le cas des éleveurs

La fragilité économique des éleveurs réunionnais (lourdes charges alimentaires dues au coût des concentrés (prix des céréales élevés et coût de transport important), surfaces allouées à l'élevage réduites, endettement structurel...) fait que leur principal objectif est de rentabiliser au mieux leur outil de production existant en augmentant leur productivité par une progression de la production à dotation factorielle donnée et sous la contrainte de ne pas augmenter le niveau d'excédent azoté et d'émission de GES actuel. Dans un tel contexte, pour chaque éleveur a , la direction de projection sur la frontière de production peut se définir explicitement comme suit :

$$(d^{y^G}, d^{y^B}, d^{x^V}) = (y_a^G, 0, 0)$$

2.2.2 Le cas de la coopérative

L'objectif premier de la coopérative a toujours été d'augmenter le taux de couverture du marché local en maximisant les capacités de production des élevages réunionnais. Cet objectif doit toutefois être tempéré par un souci de gestion de l'environnement et par la contrainte foncière très limitante à La Réunion. Pour cet acteur, la direction de projection sur la frontière d'efficacité augmentera donc à la fois la production laitière et les inputs qu'elle considère comme ajustables ou variables (charges alimentaires, travail, cheptel) tout en maintenant constant les GES et l'EA (output indésirable) et en considérant x^f les composantes fixes des facteurs de production comme le foncier, cette orientation spécifique à la coopérative peut se formaliser pour chaque éleveur évalué par les valeurs suivantes :

$$(d^{y^G}, d^{y^B}, d^{x^V}) = (y_a^B, 0, x_a^V)$$

2.2.3 Le cas de la société

Nous faisons l'hypothèse que la société a comme principal souhait la réduction de l'impact environnemental pour améliorer l'attrait touristique de l'île de La Réunion (qualité de l'eau, paysage,...). Cet objectif ne doit pas toutefois aller à l'encontre du niveau d'approvisionnement local en produits laitiers et d'un bassin d'emploi significatif. En d'autres termes pour chaque éleveur expertisé, la direction conforme au souhait de la société est formalisée comme suit :

$$(d^{y^G}, d^{y^B}, d^{x^V}) = (0, -y_a^B, 0)$$

2.3 Agrégation des technologies individuelles et réallocation sectorielle des ressources

Les technologies individuelles décrites par T (3) peuvent être agrégées au niveau de l'ensemble des entités pour pouvoir déterminer l'efficacité au niveau du secteur (Li, 1995). Il convient ici de souligner que cette dernière n'est pas directement égale à la somme des efficacités individuelles. Grâce à des possibilités de réallocation des ressources au profit des firmes les plus efficaces, elle lui sera supérieure. L'écart entre l'efficacité du plan de production sectoriel (agrégation des firmes) et la somme des efficacités individuelles mesure le coût d'opportunité de maintenir au niveau de chaque entité du groupe ses propres ressources et de ne pas les réallouer entre les seules firmes les plus efficaces.

Plus formellement, considérons le secteur global composé de N firmes appartenant à T , la technologie agrégée hérite des propriétés des technologies individuelles et se définit simplement comme la somme de celles-ci, Li (1995) a démontré, que sous l'hypothèse de convexité, la technologie agrégée est bien égale à N fois la technologie individuelle.

$$T^S = \sum_{n \in \mathbb{N}} T = N \times T$$

Pour évaluer le plan de production agrégé appartenant à la technologie T^S selon les objectifs précédemment définis, nous gardons les mêmes caractéristiques dans les directions de projection. En revanche, pour les composantes des vecteurs de projection, nous utilisons désormais la somme des dotations individuelles. Dans ce cas, l'efficacité s'exprime en pourcentage du total de la dotation globale du secteur et non plus en pourcentage de la dotation d'une entité particulière (Dervaux et al., 2004). La fonction distance directionnelle associée à cette technologie agrégée s'évalue par le programme linéaire suivant :

$$\begin{aligned} \vec{D}(\sum_{n \in \mathcal{N}} x_n^V, \sum_{n \in \mathcal{N}} x_n^F, \sum_{n \in \mathcal{N}} y_n^G, \sum_{n \in \mathcal{N}} y_n^B) &= \text{Max } \alpha_S \\ N \sum_{n \in \mathcal{N}} \lambda_n y_n^g &\geq \sum_{n \in \mathcal{N}} y_n^g + \alpha_S . d_S^g, \forall g \in \mathcal{G} \\ N \sum_{n \in \mathcal{N}} \lambda_n y_n^b &= \sum_{n \in \mathcal{N}} y_n^b + \alpha_S . d_S^b, \forall b \in \mathcal{B} \\ N \sum_{n \in \mathcal{N}} (\lambda_n + \omega_n) x_n^v &\leq \sum_{n \in \mathcal{N}} x_n^v + \alpha_S . d_S^v, \forall v \in \mathcal{V} \quad (6) \\ N \sum_{n \in \mathcal{N}} (\lambda_n + \omega_n) x_n^f &\leq \sum_{n \in \mathcal{N}} x_n^f, \forall f \in \mathcal{F} \\ N \sum_{n \in \mathcal{N}} (\lambda_n + \omega_n) &= N \\ \omega_n &\geq 0, \forall n \in \mathcal{N} \\ \lambda_n &\geq 0, \forall n \in \mathcal{N} \end{aligned}$$

3 Données et résultats

3.1 Présentation des données et des variables retenues

Les données que nous analysons dans cette étude ont été récoltées par l'équipe CIEEL (Conduite Intégrée des Exploitations et des filières d'Élevage) du CIRAD de St Pierre à La Réunion, en collaboration avec la FRCA, SOLAGRO, le CERFRANCE et la SICALAIT. Afin de pouvoir mener une réflexion sur l'efficacité éco-environnementale des exploitations laitières à La Réunion, il s'est avéré nécessaire d'identifier un échantillon d'éleveurs susceptibles de fournir des données structurelles (cheptel, surfaces...) mais également des données économiques exhaustives et précises, permettant à leur tour d'établir des bilans énergétiques et azotés. Ce travail amorcé en 2007 (Vigne, 2007) avec l'identification de 30 éleveurs a été complété en 2010 pour aboutir à un échantillon final de 51 éleveurs (Payet, 2010). Pour chacun de ces éleveurs, nous disposons d'un jeu de données constitué à partir d'un questionnaire d'enquêtes et des éléments détaillés du compte de gestion 2007. L'échantillon de 51 éleveurs représente 49 % des éleveurs adhérents à la SICA Lait. La production globale de ces éleveurs s'élève à 14,6 millions de litres de lait, soit 60 % de la production locale en 2007.

Pour la technologie de production, la production laitière est considérée comme le seul output désirable. Même s'il est vrai que l'éleveur valorise son outil de production par d'autres moyens (agro-tourisme, viande, ...), cette hypothèse se justifie par une part très importante de la production laitière dans le revenu global de l'éleveur. En ce qui concerne les dotations factorielles, nous avons décidé de retenir 4 inputs qui synthétisent les principales contraintes économiques et structurelles des éleveurs réunionnais (surface, cheptel, charge alimentaire et travail).

L'insularité de La Réunion et la part importante de la surface agricole allouée à la canne à sucre font de la surface une des contraintes majeures des systèmes de production laitiers. Cette contrainte foncière nous a amené à considérer cet input comme fixe. En d'autres termes, quel que soit le modèle utilisé, les marges d'améliorations identifiées pour chaque éleveur ne pourront aboutir à une augmentation de sa surface. Le deuxième input est naturellement le nombre d'UGB (Unité Gros Bovin) présents dans l'exploitation. Cette unité intégrant l'ensemble des animaux du troupeau (veaux, génisses, vaches taries) et pas uniquement les vaches laitières, permet d'appréhender avec plus de précision la taille de l'outil de production. Le troisième input considéré est la charge alimentaire exprimée en Kg de matière sèche (MS). Cette variable permet d'intégrer les quantités de concentrées achetées par l'éleveur (charge majeure des systèmes d'élevage réunionnais) mais aussi les achats de fourrages auxquels les éleveurs ont parfois recours lorsqu'ils ont peu de surface. Pour finir, nous intégrons les quantités de travail familial et salarié fournis dans chaque exploitation mesurées en heures totales travaillées par an.

Deux outputs indésirables associés à la production laitière ont été explicitement retenus dans la technologie de production : les GES et les EA. La méthodologie PLANETE (Pour L'ANalyse Energétique de l'Exploitation ; Bochu et al., 2010) a permis de réaliser des bilans énergétiques pour chacun des 51 éleveurs. Cette approche, qui quantifie les flux de consommation et de production d'énergie d'une exploitation, convertit l'ensemble des composantes de l'outil de production en MJ (Méga Joule) grâce à des coefficients énergétiques. Cette méthodologie permet de synthétiser différents indicateurs d'efficacité énergétique de l'exploitation mais aussi de quantifier les émissions de GES (CO_2 : gaz carbonique, CH_4 : méthane et NO_2 : protoxyde d'azote) en équivalent CO_2 , grâce au PRG (Potentiel de Réchauffement Global) de chacun des gaz considérés (respectivement 1, 21 et 310 Kg eqCO_2). Les données récoltées ont également permis d'établir des bilans azotés qui quantifient l'ensemble des rentrées et des sorties d'azote de l'exploitation liées à l'activité d'élevage. Ces bilans azotés sont des bilans apparents : ils ne tiennent pas compte de l'azote fixé dans le sol, perdu par lixiviation ou par émission gazeuse, du fait de la forte incertitude sur ces données. Le bilan permet de calculer l'excédent azoté (EA) qui correspond à la partie d'azote qui n'a pas été valorisé par l'élevage et qui constitue donc une source directe de pollution (lorsqu'il atteint des valeurs importantes). Les GES et les EA ont été choisis dans cette étude comme les indicateurs environnementaux les plus appropriés car ils sont classiquement utilisés dans la littérature et permettront de comparer la situation de La Réunion à d'autres situations d'élevage.

L'ensemble des variables utilisées dans notre analyse sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Analyse descriptive des variables retenues

Input (x) / Output (y)	Unité/précision	Moyenne	Ecart-Type	Min	Max
Production laitière (PL) : y^g	Tonne de litres de lait	285,8	140,5	83,7	669,4
Excédent d'Azote (EA) : y^{b1}	Tonne d'azote	6,2	3,7	1,4	21,8
Gaz à Effet de Serre (GES) : y^{b2}	Tonne de gaz	488,4	244,1	148,6	1149,6
Unité Gros Bovin (UGB) : x^{v1}	Nombre d'UGB	61,4	26,3	27	131
Charges alimentaires (CHA) : x^{v2}	Tonne de MS d'aliments	231,9	114,1	69,19	525,1
Heures Totales Travaillées (HTT) : x^{v3}	Heures travaillées par an	7414,8	3398,2	2190	18158
Surface Agricole Utile (SAU) : x^f	Hectare	22,2	16,0	3	72

Le tableau 1 fait ressortir la forte hétérogénéité des éleveurs qui constituent notre échantillon. En effet, l'échantillon étant constitué de systèmes plus ou moins intensifs, on retrouve les principales caractéristique des différents modes de production, respectivement de grande surface (plus de 70 Ha) avec peu de charges alimentaires (moins de 70 Tonnes), et de petites exploitations (3 hectares) ayant recours à davantage d'aliments concentrés et d'achats de fourrage (plus de 500 tonnes par an). La forte variabilité de la production laitière démontre également les différences de stratégies des éleveurs dans la gestion de leur outil de production. En effet, des éleveurs préfèrent parfois développer des activités secondaires (agricole ou extra-agricole) pour compléter le revenu laitier, plutôt que de modifier leur outil de production pour produire plus de lait (production maximale observée de 669 tonnes de lait par an). Si les moyennes observées pour les indicateurs environnementaux sont difficilement interprétables sans comparaison à d'autres situations d'élevage dans le monde, le tableau 1 permet toutefois de constater de grandes disparités dans les quantités de gaz à effet de serre et d'azote (le maximum d'émission azotée est plus de 15 fois supérieur aux émissions minimales observées).

Cette forte hétérogénéité des élevages fait bien apparaître la nécessité d'une analyse par optimisation. En effet, nous verrons dans la prochaine section que l'analyse de ces données par les fonctions distances directionnelles incluant l'hypothèse de la faible disposition des outputs indésirables permet d'identifier les éleveurs les plus performants et de caractériser les marges de progression pour les élevages inefficients.

3.1.1 Scores d'inefficience et réduction des inefficacités potentielles

Les différentes marges de progression potentielles selon les objectifs de chaque acteur sont exposées dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Marges de progression potentielle selon le point de vue des trois acteurs

	Production laitière	Emissions, Excédents		Inputs variables		
		GES	EA	CHA	UGB	HTT
Coopérative	25,65%			31,19%	31,98%	34,63%
Société		-22,79%	-24,12%			
Éleveur	13,04%					

Nous rappelons que dans le cas de la coopérative, l'objectif est d'augmenter les inputs variables (CHA, UGB et HTT) afin d'atteindre la production laitière maximale. La direction de projection joue donc à la fois sur les dimensions des inputs variables et de l'output désiré. En ce qui concerne les deux autres cas (éleveur et société) les directions ne concernent respectivement que la maximisation de l'output désiré et la minimisation des outputs indésirables.

Le tableau 2 met en exergue les hypothèses réalisées pour chacun des acteurs de la filière et permet de comparer l'incidence de ces hypothèses sur la production laitière et les facteurs environnementaux mais aussi sur la pertinence d'augmenter le niveau des dotations factorielles. On peut noter par exemple que le scénario de la coopérative permet une augmentation de la production de 25,65% tandis que dans le cas de l'éleveur, elle s'élève à 13,04 %.

Afin d'estimer le coût de non-réallocation des ressources, nous avons exposé dans le tableau 3 les résultats de l'analyse sectorielle. Il est ainsi possible de mesurer le gain d'efficacité supplémentaire si les ressources sont allouées seulement aux individus les plus performants. En d'autres termes, cet indicateur exprime simplement une marge de progression supplémentaire, réalisable si l'ensemble des éleveurs mettaient en œuvre les systèmes de production optimaux pour l'île de La Réunion.

Tableau 3 : Marges de progression potentielle avec réallocation des ressources

	Production laitière	Emissions, Excédents		Inputs variables		
		GES	EA	CHA	UGB	HTT
Coopérative	53,70%			53,70%	53,70%	53,70%
Société		-45,57%	-45,57%			
Éleveur	29,06%					

On constate que la réallocation des ressources permettrait d'accroître significativement les marges d'améliorations. En effet, dans le cas de la coopérative, la production augmenterait de 53,70% mais nécessiterait une augmentation du même ordre des charges. La différence entre les valeurs du tableau 3 et du tableau 2 permet de définir le coût d'opportunité de non réallocation des ressources pour chaque scénario. Par exemple dans le cas du scénario souhaité par l'éleveur, la réduction des inefficacités individuelles permettrait d'augmenter la production de 13,04%, mais avec réallocation des ressources à l'échelle globale, cette augmentation potentielle atteindrait 29,06 % ; d'où un coût de non réallocation de 16,02%.

3.1.2 Analyse des ratios et comparaison aux données disponibles

Afin de pouvoir comparer la situation Réunionnaise avec d'autres systèmes de production, il est nécessaire de calculer des ratios en se basant sur ceux communément utilisés dans l'évaluation de l'impact environnemental des productions animales. L'utilisation de ces ratios permet également la comparaison des exploitations laitières entre-elles. Nous avons choisis d'utiliser dans cette section la quantité de gaz à effet de Serre émise (en kg d'équivalent CO₂) par litre de lait, la quantité d'azote excédentaire sur l'exploitation (en Kg d'azote) par litre de lait et en dernier lieu la quantité d'azote excédentaire sur l'exploitation par unité de surface (en kg d'azote par hectare de SAU). Les tableaux 4 et 5 mettent en évidence la forte hétérogénéité des exploitations laitières au regard de ces ratios.

Afin de connaître la diversité des niveaux d'EA et de GES à La Réunion, nous avons calculé les niveaux moyens pour les exploitations les plus émettrices d'azote et de GES, les moins émettrices, et celles qui présente un niveau intermédiaire dans notre échantillon. Nous avons ensuite calculé pour chaque catégorie les diminutions d'EA et de GES engendrées par chaque scénarii afin de déterminer quelles exploitations étaient le plus impactées par le point de vue des acteurs de la filière.

Tableau 4 : Disparités des ratios de GES/L selon les scénarios

	Niveau actuel (GES/L)	Coopérative	Société	Eleveur
25% les moins émettrices de GES et d'EA	1,24	11,39%	16,07%	11,68%
50 % avec des niveaux intermédiaires	1,74	17,06%	15,65%	8,94%
25 % les plus émettrices de GES et d'EA	2,34	41,94%	43,87%	30,76%

Tableau 5 : Disparités des ratios de EA/L selon les scénarios

	Niveau actuel (EA/L)	Coopérative	Société	Eleveur
25% les moins émettrices de GES et d'EA	0,014	10,47%	11,83%	9,02%
50 % avec des niveaux intermédiaires	0,021	19,62%	17,93%	11,21%
25 % les plus émettrices de GES et d'EA	0,032	44,37%	47,94%	39,80%

On constate que les réductions d'EA et de GES affectent essentiellement les exploitations les plus polluantes (jusqu'à 47,94% de réduction de l'EA dans le cas de la société). De manière plus générale, on constate que les scénarios de la coopérative et de la société sont les plus efficaces dans la réduction des indices environnementaux, tandis que la faible augmentation de lait observé dans le cas de l'éleveur ne permet pas de faire chuter les indicateurs environnementaux aussi significativement (les indicateurs étant rapportés au litre de lait).

Au-delà de cette analyse de la disparité par quartile d'émission et d'excédent, il convient d'exprimer des résultats à l'échelle globale afin de saisir au mieux l'influence de chacun des scénarios sur l'évolution des indices environnementaux à La Réunion. A cet effet, nous avons

illustré dans le tableau 6 les valeurs moyennes optimales observées pour chaque hypothèse et les bénéfices qu'apporterait une réallocation des ressources.

Tableau 6 : Marge de réduction des ratios environnementaux

	Excédent azoté (Kg N/L)			Gaz à effet de serre (Kg d'eq. CO ₂ /L)		
	Actuel	Sans réallocation	Avec réallocation	Actuel	Sans réallocation	Avec réallocation
Coopérative		0,0158	0,0139		1,335	1,112
Société	0,022	0,0156	0,0116	1,77	1,321	0,930
Eleveur		0,0171	0,0151		1,470	1,288

Les productions laitières de notre échantillon étant en moyenne de 285,8 tonnes par éleveur (tableau 1), on comprend l'impact important des différences entre les ratios observés dans le tableau 6. On constate également que la réallocation des ressources permet une amélioration conséquente de l'efficacité éco-environnementale (baisse des indicateurs dans tous les scénarios pour l'EA comme pour les GES), surtout dans le cas de la société où la réallocation permet d'améliorer les performances de plus de 25%.

Enfin, il est intéressant de situer les systèmes d'exploitation laitiers réunionnais par rapport à d'autres systèmes d'élevage dans le monde et aux systèmes de production métropolitains. On peut voir par exemple sur la figure 1 les émissions de GES des exploitations réunionnaises, observées, optimales et après réallocation des ressources, juxtaposées aux données produites par la FAO pour les régions les moins émettrices de GES⁴ (FAO,2010) et aux données du référentiel PLANETE 2010 (Bochut J-L et al., 2010) basé sur 408 exploitations « bovins lait strict » de la métropole. On constate que les exploitations de La Réunion émettent légèrement plus de GES que la moyenne observée en métropole. L'optimisation de ces exploitations leur permet de passer en dessous de cette moyenne mais ne leur permet pas d'atteindre les niveaux les plus bas observés en métropole (0.8 Kg eq. CO₂ / L).

Concernant l'excédent azoté, il est plus difficile de trouver des données internationales. Nous comparons nos données à celle issues du projet « Green Dairy »⁵ et de l'étude de A. Le Gall (Le Gall, 2003)⁶. Afin de pouvoir comparer nos résultats avec les résultats de la littérature précédemment citée, l'excédent azoté est ici rapporté par ha de SAU. La figure 2 met en évidence des taux d'excédents azotés plus élevés que les moyennes observées en métropole et en Europe. Les exploitations réunionnaises restent néanmoins moins polluantes que les exploitations européennes les plus polluantes (Portugal, 500 Kg N/Ha, Chambaut, 2007).

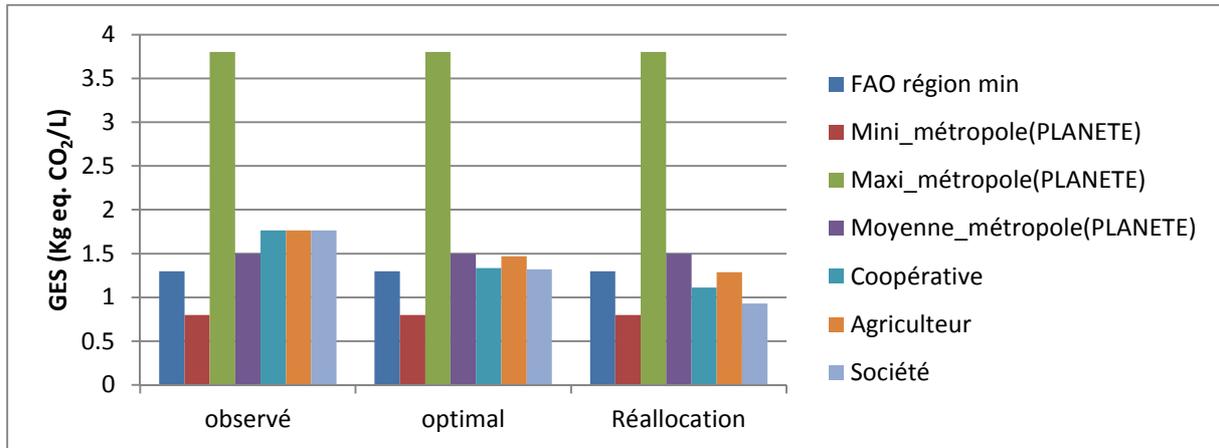
⁴ En effet, les systèmes d'élevage réunionnais étant intensifiés, il n'est pas pertinent de les comparer aux systèmes traditionnels des pays en voie de développement (émission de l'ordre de 7.5 Kg d'eq. CO₂ /L).

⁵ Projet Européen interrégional réunissant 50 chercheurs et techniciens et 150 éleveurs de l'ensemble des pays européens de la zone atlantique pour une durée de 3 ans.

⁶ Bilan azoté de 216 exploitations laitières françaises.

Figure 1

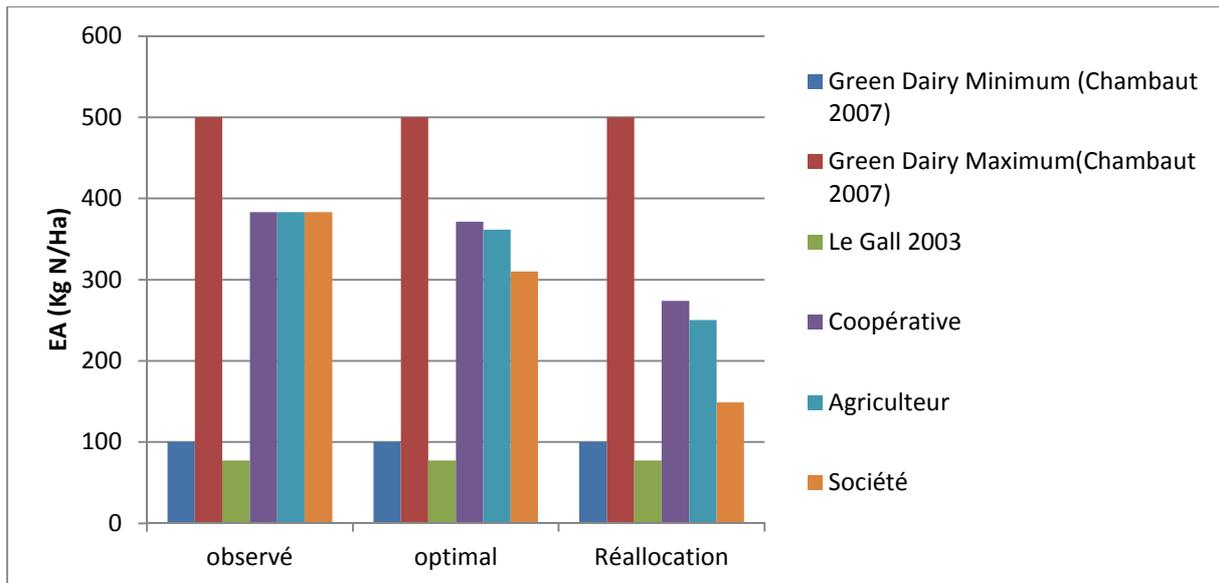
Niveau de GES/ L à La Réunion et comparaison aux données existantes



Données illustrées : Bochut J-L et al., 2010 ; FAO, 2010

Figure 2

Niveau d'EA/Ha à La Réunion et comparaison aux données existantes



Données illustrées : La Gall, 2003 ; Chambaud, 2007

4 Discussion

L'analyse des résultats met en évidence les marges d'amélioration éco-environnementale en considérant différents jeux possibles spécifiques aux trois principaux acteurs de la filière laitière réunionnaise. Avec une marge de progression de la production de 26 %, le point de vue de la coopérative est celui qui permet d'envisager les plus grands potentiels d'améliorations. Ce résultat n'est pas surprenant car la double direction (sur les inputs variables et sur la production laitière) prise en compte dans le modèle augmente le potentiel

de marges de manœuvre des élevages. Néanmoins, ces marges de manœuvre relativement plus importantes ont un prix : elles s'accompagnent d'une majoration de la charge alimentaire, du cheptel et du travail de plus de 30%. Dans un contexte réunionnais où les éleveurs rencontrent déjà de nombreuses difficultés pour couvrir les charges de leur système d'exploitation (surtout les charges alimentaires), on peut s'interroger sur une réelle implication de leur part dans la mise en œuvre d'un tel scénario. A fortiori, si l'on envisage une réallocation des ressources au niveau global du secteur, on constate que les augmentations de ces mêmes inputs devraient atteindre 54% pour un supplément de production de 28 %. Dans le cas de la société, on constate que la marge de progression est plus faible et s'explique le choix d'une seule direction sur les outputs indésirables dans le modèle. A production inchangée dans ce scénario, les deux indicateurs environnementaux chutent de plus de 20 % en cas de réduction des inefficiences environnementales. De plus, le coût de non réallocation des ressources est maximal pour ce scénario avec un écart de 24% entre la somme des inefficiences individuelles et celle du secteur global. Enfin, le point de vue des éleveurs apparaît comme le scénario dégageant les marges d'amélioration les plus faibles. On comprend que ce résultat s'explique par le choix d'une direction unidimensionnelle (la maximisation de la production laitière) en maintenant constants à la fois les indices environnementaux et toutes les dotations factorielles à leurs niveaux observés. Malgré ces contraintes fortes, on constate néanmoins que ce scénario permet une augmentation significative de la production laitière de 13 % grâce à une simple optimisation des outils de production actuels. L'analyse des inefficiences fait donc apparaître clairement les conséquences des différentes hypothèses réalisées pour chaque acteur mais ne permet pas réellement d'identifier les scénarios optimaux pour allier une production laitière suffisante et des indices environnementaux optimaux.

Les tableaux 4 et 5 permettent d'analyser la diversité des exploitations Réunionnaises mais aussi l'évolution potentielle de cette diversité selon les points de vue adoptés par les acteurs de la filière. Une des conclusions de cette analyse est le résultat obtenu dans le scénario de la coopérative qui s'avère être sensiblement identique à celui issu du scénario de la société en termes de ratios d'émission et d'excédent. En effet, les GES et EA étant rapportés au litre de lait, la maximisation de la production dans le cas de la coopérative réduit « mécaniquement » les ratios (baisse EA et GES par litre de lait). Inversement dans le cas de la société, la diminution des ratios a pour origine la minimisation des quantités de GES et d'EA. Ces remarques sont confirmées par l'analyse du tableau 6 qui met en évidence une différence entre les résultats de la coopérative et de la société d'une part et des éleveurs d'autre part.

La comparaison des émissions de GES avec les données annoncées par la FAO démontre que les systèmes d'élevage réunionnais comptent parmi les moins émetteurs de GES parmi les systèmes d'élevage considérés dans leur étude. Ce résultat s'explique par l'intensification importante des élevages laitiers à La Réunion et les conclusions du rapport de la FAO qui affirme que les systèmes de production les moins polluants sont les systèmes intensifiés de type « européen ». En réduisant leur inefficacité, les exploitations réunionnaises pourraient même émettre moins de GES que les moyennes observées en métropole (données PLANETE, figure 1). L'analyse des données relatives aux excédents d'azote se révèle plus délicate. En effet, il est très difficile d'identifier des études comparables dans l'hémisphère sud. Quant aux données européennes, il est difficile de pouvoir s'en rapprocher tant les méthodologies employées diffèrent. En effet, ces travaux distinguent le plus souvent différents types d'élevages laitiers (avec cultures, sans cultures, avec élevage porcin...) et il n'est pas aisé de choisir un résultat comme référence. De plus, les calculs des indicateurs européens diffèrent avec notamment la prise en compte de la fixation azotée par les légumineuses cultivées sur

l'exploitation, les taux de lessivages des sols, ou encore la proportion d'azote évaporé lors de son stockage ou de l'épandage. On constate néanmoins que l'excédent azoté est plus élevé à La Réunion que les valeurs moyennes observées dans l'hémisphère Nord tout en se situant sous les niveaux maximum recensés au Portugal (Chambaut, 2007). Ce résultat s'explique en grande partie par des surfaces assez faibles allouées à l'élevage à La Réunion et par voie de conséquence à des niveaux d'UGB par hectare relativement élevés.

5 Conclusion

Notre étude a mis en évidence les incidences des points de vue de trois principaux acteurs de la filière (société, coopérative et éleveur) sur les niveaux de GES, d'EA et de production laitière à La Réunion. Des marges de progression peuvent d'ores et déjà être explorées par une meilleure utilisation des systèmes de production déjà en place (éleveur) mais aussi par une augmentation de certaines dotations factorielles comme le travail, l'alimentation et le cheptel. Les éleveurs faisant déjà face à des charges élevées, l'augmentation des charges et des investissements correspondant ne pourra se faire sans un accompagnement technique et économique des structures locales. L'étude des ratios fait apparaître des convergences de résultats entre les objectifs de la société et de la coopérative, s'expliquant par le fait que le premier objectif réduit considérablement les externalités non souhaitées (EA et GES) à production inchangée tandis que le deuxième maintient les GES et l'EA au niveau actuel tout en augmentant la production laitière.

Les niveaux d'excédents azotés sont sensiblement supérieurs aux niveaux observés en métropole mais les comparaisons ne sont pas toujours pertinentes tant le panel des méthodologies employées est large. La poursuite de ce type d'étude en zone tropicale permettra sans nul doute d'affiner la quantification des flux azotés en élevage laitiers. En effet, la nature des sols, la température, l'humidité, sont autant de facteurs qui peuvent expliquer des différences majeures dans les processus d'évaporation, de lessivage ou de fixation de l'azote par les légumineuses.

Les niveaux de gaz à effet de serre apparaissent proches de ceux observés en métropole et des plus faibles recensées par la FAO. La réduction des GES en élevage n'apparaît pas comme une priorité dans les conclusions des EGOM. En effet, au-delà des résultats exprimés dans notre étude, l'agriculture et la sylviculture ne contribue qu'à hauteur de 8 % des émissions de GES à La Réunion, essentiellement émis par les entreprises de transformation d'énergie (43%, plan climat énergie, 2011).

A l'heure où La Réunion se fixe l'objectif à l'horizon 2030 « d'intégrer toutes les innovations environnementales » (programme GERRI), notre travail peut aider les décideurs locaux à identifier des compromis entre une activité de production locale (diminuer la dépendance vis-à-vis des importations, maintenir ou favoriser l'emploi, attraits touristiques, développement des hauts ...) et les externalités associées à cette production.

BIBLIOGRAPHIE

Bochu J-L., Bordet A-C., Metayer N., Trevisol A., 2010. Références PLANETE 2010. Toulouse : SOLAGRO.

Chambaut H., Raison C., Le Gall A., Pflimlin A., 2007. Flux d'azote dans les fermes laitières intensives de l'Espace Atlantique Ouest européen : diagnostic des niveaux de pertes d'azote vers l'eau et l'air (projet Green Dairy). 14^{ème} journées des Rencontres Recherches Ruminants (3R).

Chambers R.G., Chung, Y., Färe, R., 1998. Profit, directional distance functions, and Nerlovian efficiency. *Journal of Optimization Theory and Applications*, **98**: 351–364.

Chung Y. H., Färe R. and Grosskopf S., 1997. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach. *Journal of Environmental Management*, **51** : 229–240.

Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. (2005). “Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References”, Springer, 354 pages.

Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. (2006). ”Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text With Models, Applications, References and DEA-solver Software”, Springer-Verlag, 318 pages.

Dervaux B., Ferrier G., Leleu H. and Valdmanis V., 2004. Comparing French and US hospital technologies: a directional input distance function approach, *Applied Economics*, **36(10)** : 1065-1081.

FAO 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Rome : Food and Agricultural Organization of the United Nations.

FAO (2010), Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Färe, R., Grosskopf, S. & Tyteca, D., 1996. An activity analysis model of the environmental performance of firms--application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Ecological Economics*, **18(2)** : 161-175.

Fried H.O., Knox Lovell C.A., Schmidt S.S. (2008). “The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth”, Oxford University Press, 656 pages.

Kuosmanen T, 2005. Weak disposability in nonparametric productivity analysis with undesirable outputs. *American Journal of Agricultural Economics*, **87**:1077–82.

Kuosmanen T, Podinovski VV, 2009. Weak disposability in nonparametric production Analysis; reply to Färe and Grosskopf. *American Journal of Agricultural Economics*; **91(2)**:539–45.

Le Gall A., Vertès F., Pflimlin A., Chambaut H., Delaby L., Durand P., Van der Werf H., Turpin N., Bras A, 2003. Actes du workshop “Nutrient Management on farm scale”.

Li S.K., 1995. Relations between convexity and homogeneity in multi-output technologies, *Journal of Mathematical Economics*, **21**: 311-318.

Payet E., 2010. Evaluation de l’efficacité technique, économique et environnementale des productions laitières de La Réunion. Master 2 AQo et APE, Faculté d’Economie de La Réunion.

Podinovski V.V. et Kuosmanen T., 2011. *European Journal of Operational Research*, **211**: 577–585.

Shephard, R.W., 1974. Indirect production functions. *Mathematical Systems in Economics*, **10**. Anton Hain, Meisenheim am Glad.

SRCAE – PCER REUNION, 2011. Etat des lieux des connaissances. Synthèse des enjeux (AFOM) – livrable final.

Tyteca, D., 1996. On the Measurement of the Environmental Performance of Firms - A Literature Review and a Productive Efficiency Perspective. *Journal of Environmental Management*, **46(3)** : 281-308.

Vigne M., 2007. Evaluation du Bilan Energétique des exploitations Bovines Laitières de la Réunion. Master2 Biologie Géosciences Agrossources et Environnement. Spécialité Productions Animales en régions chaudes. 62p.