

Optimisation environnementale des systèmes de production porcine

Édouard BAUDON (1,4), Lionel COTTAIS (1,2), Philippe LETERME (2,3),
Sandrine ESPAGNOL (4), Jean-Yves DOURMAD (1)

(1) INRA-UMRVP, 35590 Saint-Gilles

(2) AGROCAMPUS, Rennes

(3) INRA-UMRSAS, CS 84215, 35042 Rennes

(4) ITP, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex

Optimisation environnementale des systèmes de production porcine

Une exploitation agricole produisant à la fois des porcs à l'engrais et des cultures de vente a été modélisée afin d'optimiser différents systèmes de production. Pour chaque simulation, le modèle définit les formules d'aliment, l'assolement, le système de gestion des effluents et la fertilisation, qui maximisent la marge brute. Le modèle a d'abord été utilisé pour étudier 9 filières de gestion des effluents (lisier ; fumier ; lisier + fumier ; compost de fumier ; compost de lisier ; traitement biologique ; traitement biologique avec séparation de phase ; compost de lisier + exportation ; compost de fumier + exportation). Jusqu'à 50 porcs/ha/an, la filière lisier offre la marge brute la plus élevée. Entre 60 et 80 porcs/ha la filière mixte lisier/fumier apparaît la plus intéressante. Au-delà de 90 porcs/ha, les stratégies avec compostage de lisier ou traitement biologique offrent les meilleurs résultats. Dans l'ensemble, la marge brute est plus élevée pour les filières lisier que pour les filières fumier, principalement en raison du coût de l'approvisionnement en paille. Le bilan environnemental révèle des bilans d'azote et de phosphore plus élevés pour les filières fumier. La volatilisation de l'ammoniac est quand à elle plus importante avec les filières lisier. Le modèle a également été utilisé pour étudier des contraintes additionnelles comme une limitation des apports de phosphore organique. Cette étude révèle les relations étroites qui existent dans une exploitation entre production végétale et animale. Pour certains systèmes de traitement, la production est presque illimitée, sans avoir d'effet direct sur l'environnement. Néanmoins, les systèmes les plus durables présentent des chargements plus faibles, l'optimum se situant autour de 50 à 80 porcs produits/ha/an.

Environmental optimization of systems of swine production

A model was developed in order to optimize under different constraints the production systems in a farm associating crop and fattening pig productions. For each simulation the model calculated the feed formulas (growing and finishing), the management of manure and the crop rotation and fertilization that maximized the gross margin. The model was first used to compare 9 different strategies of manure management (slurry ; solid manure ; slurry + solid manure ; compost of slurry ; compost of solid manure ; biological denitrification treatment ; biological treatment with separation of the solid fraction ; compost of slurry + exportation ; compost of solid manure + exportation). Up to 50 pigs produced/ha/year, the highest gross margin was obtained with the slurry strategy. Between 60 and 80 pigs/ha, the mix strategy "slurry + solid manure" was the most interesting. Above 90 pigs/ha/year, the strategy with compost of slurry and slurry treatment offered the best results. In overall, the gross margin was lower for strategies based on solid manure than for strategies based on slurry, mainly because of the requirement for straw. The environmental assessment revealed higher nitrogen and phosphorous balance excess for strategies based on solid manure, and higher ammonia volatilization for strategies based on slurry. The model was also used to study additional constraints such as limiting the spreading of organic phosphorous. This study reveals a strong link between animal and crop production. It also appears that good gross margin and low environment impact can be obtained with high intensity of pig productions per ha, if the right manure management system is used. However systems with low intensity are more sustainable, the optimum being around 50-80 pigs produced/ha/year.

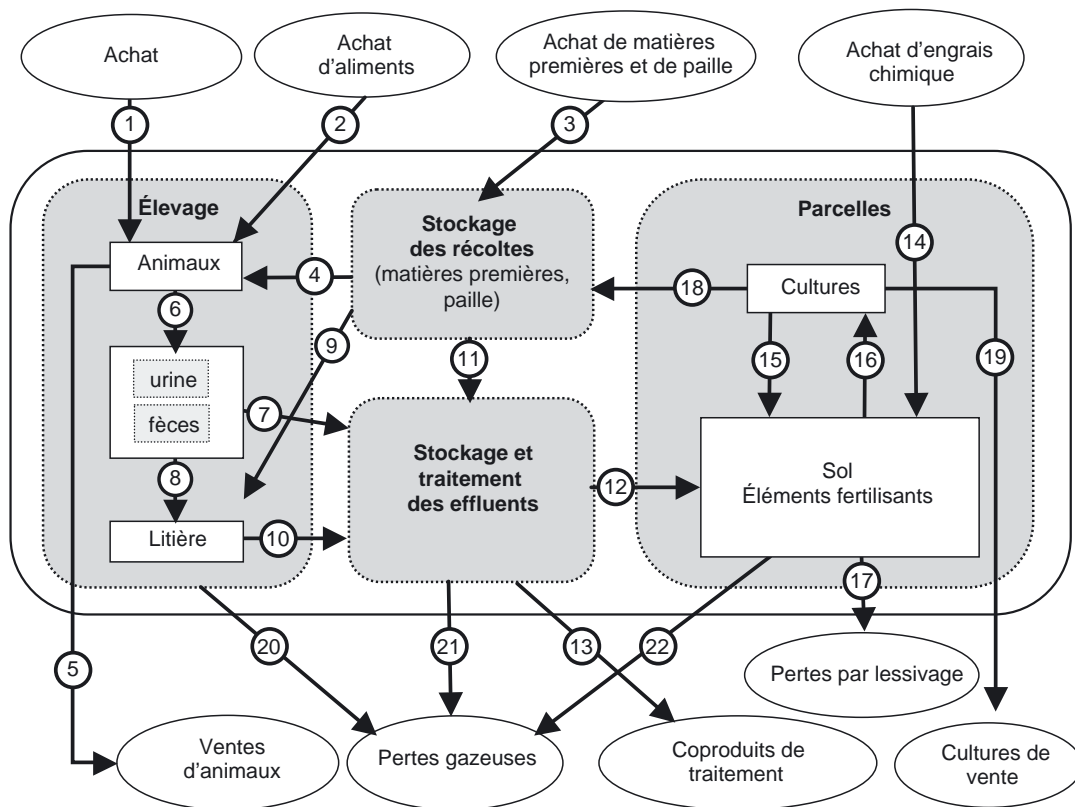
INTRODUCTION

La protection de l'environnement est devenue un sujet de préoccupation majeur des sociétés du XXI^{ème} siècle. Dans de nombreux pays, l'activité agricole est ainsi montrée du doigt en raison des dégradations qu'elle engendre sur les espaces naturels. Afin de maîtriser les pollutions d'origine agricole, des règles administratives ont été progressivement mises en place. Ceci s'est traduit par la directive nitrate au plan européen (directive 91/676/CEE) et le programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole (PMPOA) en France. Ces règlements obligent les exploitants à modifier la conduite de leurs systèmes de production. Cela se traduit par un changement des pratiques agraires et entraîne des investissements dans des installations pour stocker ou traiter les effluents d'élevage. Cependant il est important que ces changements, obligatoires et coûteux, n'entraînent pas le développement économique et social des exploitations. On voit ici apparaître la notion d'agriculture et de développement durable, qui se traduit par l'interaction positive entre développement de l'espace rural et la préservation de l'environnement (BARBAULT, 2001).

Dans le cadre du programme Porcherie Verte, nous avons cherché à développer un modèle décrivant une exploitation agricole ayant des porcs, afin d'évaluer l'incidence des politiques environnementales sur les systèmes de production. Une étude similaire a déjà été menée au Danemark par JACOBSEN et al (1998). Dans cette première phase, notre étude porte uniquement sur des systèmes de production de type engraissement, ayant l'intégralité des surfaces agricoles emblavées en cultures de vente. Le modèle ainsi développé permettra de rechercher, dans ce contexte, les systèmes de production qui offrent le meilleur compromis entre respect des règles environnementales et performances économiques. Ce texte présente l'architecture du modèle ainsi qu'un récapitulatif des principales simulations réalisées.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Dans le modèle l'exploitation agricole est considérée comme un système constitué d'un sous système opérant et d'un sous système de pilotage (LE MOIGNE, 1984). Le système opérant, qualifié par la suite de système de production, est



1. Entrée d'animaux
2. Entrée d'aliment
3. Entrée de matières premières et de paille
4. Utilisation de matières premières pour l'alimentation
5. Sortie d'animaux
6. Matières non retenues par les animaux, excrétées dans les déjections
7. Transfert des déjections vers les unités de stockage et de traitement
8. Transfert des déjections vers une litière paillée
9. Utilisation de la paille pour la confection de la litière
10. Transfert de la litière vers les unités de stockage et de traitement
11. Utilisation de paille pour le compostage du lisier
12. Épandage des effluents sur les cultures
13. Sortie de matière par exportation des effluents ou des coproduits de traitement hors de l'exploitation
14. Entrée de matière par l'achat d'engrais chimiques
15. Retour d'éléments fertilisants au sol par les résidus de culture
16. Prélèvement d'éléments fertilisants par les plantes
17. Lessivage possible de l'azote (ammonium) restant dans le sol
18. Stockage des céréales pour l'alimentation
19. Sortie de matière par la vente de céréales
20. Pertes gazeuses de composés azotés dans les bâtiments
21. Pertes gazeuses de composés azotés lors du stockage et du traitement
22. Pertes gazeuses de composés azotés lors de l'épandage

Figure 1 - Représentation schématique des flux et pertes de matières dans une exploitation d'élevage

représenté sous la forme de trois compartiments : l'élevage, les stockages (céréales et effluents) et les parcelles cultivées (figure 1). Ces compartiments échangent entre eux ou avec l'extérieur différents flux allant des éléments simples (N, P, K) à des produits plus complexes (effluents, végétaux...). Le système de pilotage regroupe les éléments de décision, de gestion, d'évaluation et d'information. Il contrôle et, si besoin est, ajuste le système de production. Par ailleurs, l'exploitation interagit avec le milieu extérieur, notamment par l'entrée et la sortie de flux de matières, mais aussi du fait de sa dépendance vis à vis du contexte socio-économique et du milieu naturel dans lequel elle se situe.

1.1. Description du système de production

1.1.1. Les animaux et leur alimentation

Afin de simplifier le modèle, l'élevage se limite à un atelier d'engraissement (30 à 112 kg) dont la taille peut être fixée ou variable selon les scénarios étudiés. Les porcs reçoivent un ou deux aliments selon les hypothèses retenues. La composition de ces aliments est déterminée par le modèle en fonction des contraintes nutritionnelles pour chacune des phases de croissance et de finition, de la disponibilité des matières premières, de leur composition et de leur prix. Les matières premières utilisées peuvent être achetées à l'extérieur ou provenir de l'exploitation.

1.1.2. Composition et gestion des effluents

On distingue deux grands types de gestion des effluents, qui correspondent aux deux principaux modes de logement rencontrés dans les élevages. Les porcs peuvent être logés sur caillebotis, on a alors la production d'un lisier qui peut être utilisé tel quel ou traité selon différentes techniques : compostage sur paille (LEVASSEUR, 2003) ou traitement biologique avec ou sans séparation de phase (BELINE et al, 2003). Les porcs peuvent également être logés sur une litière de paille, l'effluent obtenu est alors un fumier, qui peut éventuellement être composté. Au total six modes de gestion des effluents sont donc possibles dans le modèle.

Les concentrations en azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des déjections sont déterminées à partir des équations établies par le CORPEN en 2003. Ces quantités sont calculées par différence entre les apports alimentaires et la rétention corporelle. Les pertes d'azote liées à la volatilisation (N_2 , N_2O , NH_3) sont ensuite prises en compte en fonction du mode de gestion et/ou de traitement des effluents (CORPEN, 2003). Tous les effluents étant épandus et/ou exportés dans l'année, la capacité de stockage est toujours supposée suffisante.

1.1.3. Cultures et fertilisation

L'exploitation est décrite par la surface agricole utile (SAU) et la surface potentiellement épandable (SPE) en lisier et en fumier. Les cultures pouvant entrer dans l'assolement sont le maïs grain, le colza, le pois et les céréales à paille. Conformément aux règles de la politique agricole commune (PAC), une partie de l'assolement est gardée en jachère, qui

peut être enherbée ou ensemencée avec du colza industriel. Pour simplifier les règles de rotation on admet que l'exploitation est composée d'une parcelle homogène. Celle-ci est découpée en îlots qui correspondent aux différentes cultures implantées. Les rotations sont définies en tenant compte des règles agronomiques pour les cultures retenues. La part de chaque culture dans l'assolement est déterminée en fonction des besoins des animaux en aliment et en paille, de la quantité d'engrais de ferme à épandre et de la marge brute.

Concernant la fertilisation, la gestion des apports en azote, en phosphore et en potassium se base sur les règles établies par le COMIFER. Le principe du bilan de masse (COMIFER, 1996) est utilisé pour raisonner la fumure azotée. Les besoins de la culture sont déterminés en fonction d'un objectif de rendement fixé par l'utilisateur, correspondant au potentiel agronomique de l'exploitation. Les apports de fertilisants, organiques et/ou minéraux, se font de manière à équilibrer l'équation du bilan en tenant compte de la fourniture par les reliquats et la minéralisation. Par ailleurs, les apports d'engrais de ferme sont soumis à différentes contraintes spécifiques relatives à :

- La nature des produits épandables en fonction de la culture : aucun épandage d'engrais azoté, minéral ou organique sur le pois et les jachères enherbées et aucun épandage de fumier ou de compost sur les céréales à paille.
- Le niveau de fertilisation maximum par les engrais organiques : apport maximal de 170 kg N d'origine organique / ha SPE; possibilité de fertiliser avec du lisier à hauteur de 80 % des besoins pour les céréales à paille et 100 % pour les autres cultures.

Les fertilisations phosphatée et potassique sont basées sur des règles de calcul similaires. On considère que les sols ont une teneur élevée en ces éléments et qu'en moyenne 80 % du bilan apparent de phosphore et de potassium sont disponibles pour la culture de l'année suivante (COMIFER, 1997).

1.2. Le système de pilotage

Une fois le modèle biotechnique construit, les différents éléments du système de production sont gérés de manière à maximiser la marge brute (MB) globale de l'exploitation. Celle-ci est déterminée à partir des résultats économiques de l'atelier porcin et des cultures. Les charges relatives à l'atelier porcin, y compris la gestion des effluents, sont tirées de TEF-FENE (2002) et GOURMELEN (communication personnelle). Les références de prix et de performances pour les porcs proviennent des résultats de Gestion Technico-économique pour l'année 2002 (GTE par orientation, ITP 2002). Les charges opérationnelles des cultures correspondent à la moyenne Ile-et-Vilaine 2002 (CERGIV, 2002). Finalement les prix des céréales sont ceux rapportés par La Dépêche / Le Petit Meunier pour la campagne 2002/2003.

En combinant les six filières précédemment citées (cf 1.1.2.), on obtient neuf stratégies différentes de gestion des effluents. Il y a ainsi deux filières dites « courtes », avec utilisation brute des effluents (filière lisier et filière fumier). Le couplage du lisier avec une de ses filières de traitement aboutit à quatre stratégies différentes : lisier avec compostage de lisier

(exporté ou non), lisier avec traitement biologique avec ou sans séparation de phase. Le fumier peut également être en partie composté, avec exportation totale ou partielle du compost. Enfin, lorsque les porcs sont élevés pour partie sur litière et pour partie sur caillebotis, une filière mixte lisier/fumier est définie.

1.3. Construction du modèle

L'ensemble des simulations a été réalisé avec le module de programmation non linéaire du programme GAMS (Generalized Algebraic Modeling System, BROOKE et al, 1992). Pour chaque simulation le programme détermine l'assolement, les formules d'aliment, le plan de fertilisation et la proportion d'effluent à traiter qui maximisent la MB tout en respectant les contraintes environnementales.

1.4. Simulations réalisées

Une première série de simulations a été réalisée afin de déterminer le comportement du système de production (marge brute, bilan d'azote, de phosphore, émanations gazeuses...) pour différentes stratégies de gestion des effluents, lorsque les effectifs de porcs produits par hectare augmentent. Les simulations ont été réalisées pour une exploitation de 50 ha, avec une proportion de SPE lisier de 70 %, l'effectif de porcs produit par an variant de 20 à 210 porcs/ha. Dans un deuxième temps, l'effet d'une modification des règles environnementales a été évalué en ajoutant un seuil maximal de 100 kg de P₂O₅ d'origine organique épandu/ha SAU. Enfin, des contraintes additionnelles telles que la modification des régimes alimentaires, la réduction des rendements des cultures et la diminution de la SPE ont également été testées.

2. RÉSULTATS

2.1. Intérêt des différentes filières en fonction de l'intensité de production porcine

La figure 2 montre l'évolution de la marge brute (MB) d'exploitation en fonction du nombre de porcs produits par hectare pour les neuf filières considérées. Jusqu'à 50 porcs/ha, la filière lisier offre la MB la plus élevée. Entre 60 et 80 porcs/ha la filière mixte lisier/fumier apparaît la plus inté-

ressante. De 90 à 170 porcs produits par hectare la combinaison lisier/compost de lisier génère le meilleur compromis entre capacité de production et MB. Les stratégies avec traitement biologique offrent des performances économiques très proches de celles du compostage de lisier. Au delà de 170 porcs/ha, seules les stratégies avec exportation des coproduits de traitement restent possibles.

L'étude de la MB (figure 2) met en évidence deux catégories de gestion des effluents, la MB étant plus élevée pour les filières basées sur l'utilisation du lisier que pour celles basées sur l'utilisation du fumier. Cette situation s'explique principalement par l'achat de paille à l'extérieur et/ou la nécessité de produire des céréales à paille à plus faible valeur ajoutée. La filière associant lisier et fumier apparaît une solution intermédiaire intéressante. En effet, en couplant l'élevage sur paille et sur caillebotis, on peut accroître la capacité de production au-delà de celle de la filière lisier tout en maintenant une marge brute supérieure à celle de la filière fumier.

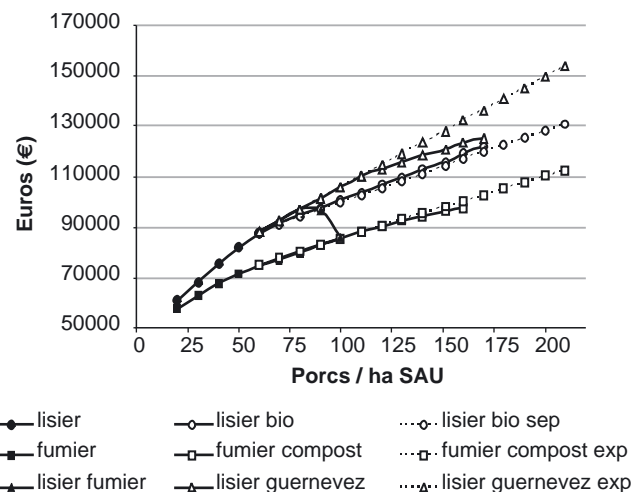


Figure 2 - Marge brute d'exploitation optimale en fonction du nombre de porcs produits par hectare et par an, pour les neuf filières de gestion des effluents étudiées

Le découpage de la MB globale (tableau 1) révèle une faible variabilité de la MB culture, avec une différence de 60 €/ha entre les valeurs minimales et maximales. La MB culture la plus faible (47 468 € soit 950 €/ha) est obtenue lorsque l'exploitation ne produit pas de porcs. En effet l'absence

Tableau 1 - Évolution de la marge brute (MB) totale, de la MB «Porcs» et de la MB «Cultures» pour différentes filières de gestions des effluents et différents niveaux de chargements

| | 50 porcs/ha/an | | | 90 porcs/ha/an | | | 160 porcs/ha/an | | |
|--------------------------------|--------------------|-------------------|---------------|--------------------|-------------------|---------------|--------------------|-------------------|---------------|
| | MB cultures (€/ha) | MB porcs (€/porc) | MB totale (€) | MB cultures (€/ha) | MB porcs (€/porc) | MB totale (€) | MB cultures (€/ha) | MB porcs (€/porc) | MB totale (€) |
| Lisier | 984,4 | 13,2 | 82 268 | - | - | - | - | - | - |
| Fumier | 946,6 | 9,8 | 71 764 | 976,8 | 7,6 | 83 009 | - | - | - |
| Lisier/fumier | - | - | - | 988,9 | 10,5 | 96 608 | - | - | - |
| Lisier/ lisier composté | - | - | - | 983,4 | 11,6 | 101 416 | 955,7 | 9,5 | 123 663 |
| Lisier biologique | - | - | - | 975,6 | 10,9 | 97 733 | 943,4 | 9,0 | 119 093 |
| Lisier biologique (séparation) | - | - | - | 977,2 | 10,7 | 97 030 | 948,8 | 8,7 | 116 722 |
| Fumier/fumier composté | - | - | - | - | - | - | 959,3 | 6,2 | 97 616 |

d'élevage entraîne des achats d'engrais chimiques supérieurs pour pouvoir fertiliser les cultures. Concernant l'atelier porcin, la marge brute dégagée par porc reste stable en dessous de 50 porcs/ha (respectivement 13,2 et 10,3 €/porc pour les filières lisier et fumier). Au-delà, elle diminue progressivement avec l'augmentation du chargement. Cela s'explique par des achats extérieurs d'aliment de plus en plus importants, mais surtout par des coûts liés à l'environnement qui augmentent. Le chargement optimum se situe autour de 50-60 porcs/ha pour l'atelier porc et 70 porcs/ha pour l'atelier culture.

2.2. Capacité de production en fonction du mode de gestion des effluents

La capacité maximale d'élevage, compte tenu des contraintes réglementaires actuelles, varie fortement en fonction de la filière de gestion et de traitement des effluents. La filière lisier apparaît la plus limitante avec une production annuelle maximale de 60 porcs/ha (tableau 2). La filière fumier, du fait d'une SPE supérieure et de la volatilisation de composés azotés par la litière, permet un chargement plus élevé (jusqu'à 100 porcs/ha). Pour les autres filières de traitement, le chargement maximum dépend surtout de l'efficacité des procédés d'extraction de l'azote des effluents. Les filières qui offrent la possibilité d'exporter les produits de traitement ont une capacité théorique de production pratiquement illimitée.

2.3. Évolution du bilan environnemental en fonction du nombre de porcs produits et de la filière de gestion des effluents

Le bilan apparent de l'azote, déterminé comme la différence entre les entrées et les sorties, est supérieur pour les filières dans lesquelles les porcs sont élevés sur litière (figure 3). Cela s'explique par des entrées accrues d'azote associées à l'achat de paille et d'engrais chimiques. En effet, les fumiers et les produits compostés ne pouvant être épandus sur les céréales à pailles, l'utilisation d'azote minéral est nécessaire pour subvenir aux besoins des cultures. Ce n'est pas le cas des lisiers qui peuvent être appliqués sur tous types de cultures. Les filières lisier/lisier composté et lisier/fumier, produisant simultanément du lisier et des fumiers, sont intermédiaires quant à leur bilan azoté. Lorsque les produits issus de traitement sont exportés, le bilan d'azote reste stable et faible quelque soit le chargement.

Avec l'intensification de la production porcine, on observe une augmentation progressive du bilan apparent du phosphore (jusqu'à 172 unités de P_2O_5 par hectare, pour les chargements les plus élevés) pour la plupart des filières (figure 3). A chargement égal, ce bilan est légèrement supérieur pour les filières basées sur l'utilisation et le traitement du fumier. Cela s'explique à nouveau par des besoins en paille et en engrais chimiques supérieures à ceux des filières lisier. Les seules filières qui limitent le bilan de phosphore sont

Tableau 2 - Influence de la filière de gestion des effluents sur la capacité maximale de production porcine (porcs/ha), la marge brute et différents critères de bilan agronomique ou environnementaux de l'exploitation, pour deux hypothèses de contraintes environnementales

| | | Lisier | Fumier | Lisier/ Fumier | Fumier/ Compost | Lisier/lisier composté | Lisier biologique | Lisier biologique / séparation | Lisier/lisier composté exporté | Fumier/ compost exporté |
|-----------------------------------|-------|--------|--------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Bilan économique | | | | | | | | | | |
| Capacité max de production | Hyp 1 | 60 | 100 | 90 | 160 | 170 | 170 | 210 + | 210 + | 210 + |
| | Hyp 2 | 60 | 100 | 90 | 110 | 120 | 120 | 210 + | 210 + | 210 + |
| Marge Brute (€) | Hyp 1 | 87 852 | 85 569 | 96 608 | 97 617 | 125 276 | 122 139 | 130 756 | 153 967 | 112 646 |
| | Hyp 2 | 87 852 | 76 738 | 95 151 | 72 175 | 94 665 | 88 584 | 130 756 | 153 967 | 112 646 |
| Bilan environnemental | | | | | | | | | | |
| Bilan N (kg/ha) | Hyp 1 | 25,4 | 97,4 | 55,2 | 147,0 | 134,6 | 25,8 | 25,5 | 40,2 | 117,5 |
| | Hyp 2 | 25,4 | 78,3 | 55,2 | 110,6 | 73,5 | 26,5 | 25,5 | 40,2 | 117,5 |
| Bilan P (kg/ha) | Hyp 1 | 19,5 | 99,4 | 65,3 | 167,9 | 166,7 | 165,1 | 51,1 | 24,5 | 101,2 |
| | Hyp 2 | 19,5 | 61,1 | 44,0 | 67,3 | 44,9 | 42,1 | 51,1 | 24,5 | 101,2 |
| NH ₃ (kg/ha) | Hyp 1 | 71,8 | 78,5 | 85,7 | 174,2 | 283,9 | 154,1 | 187,3 | 322,7 | 198,4 |
| | Hyp 2 | 71,8 | 78,5 | 85,7 | 100,2 | 179,1 | 119,1 | 187,3 | 322,7 | 204,6 |
| N ₂ O (kg/ha) | Hyp 1 | 0,0 | 11,0 | 5,8 | 20,5 | 8,2 | 2,2 | 1,9 | 7,3 | 25,1 |
| | Hyp 2 | 0,0 | 10,6 | 5,8 | 13,5 | 3,5 | 1,2 | 1,9 | 7,3 | 25,5 |
| Bilan agronomique | | | | | | | | | | |
| Autonomie alimentaire (%) | Hyp 1 | 58 | 29 | 38 | 22 | 21 | 22 | 18 | 17 | 14 |
| Autonomie de fertilisation (%) | Hyp 1 | 64 | 70 | 77 | 67 | 67 | 70 | 70 | 64 | 70 |
| Autonomie de paille (%) | Hyp 1 | - | 29 | 22 | 27 | 84 | - | - | 100 | 14 |
| % d'effluent traité | Hyp 1 | - | - | 58% de fumier | 99 | 98 | 92 | 74 | 69 | 52 |

Hypothèse 1 : élevage soumis à la réglementation des 170 UN/ha SPE

Hypothèse 2 : élevage soumis à la réglementation des 170 UN/ha SPE, à laquelle s'ajoute une limite sur le phosphore de 100 UP₂O₅/ha SAU

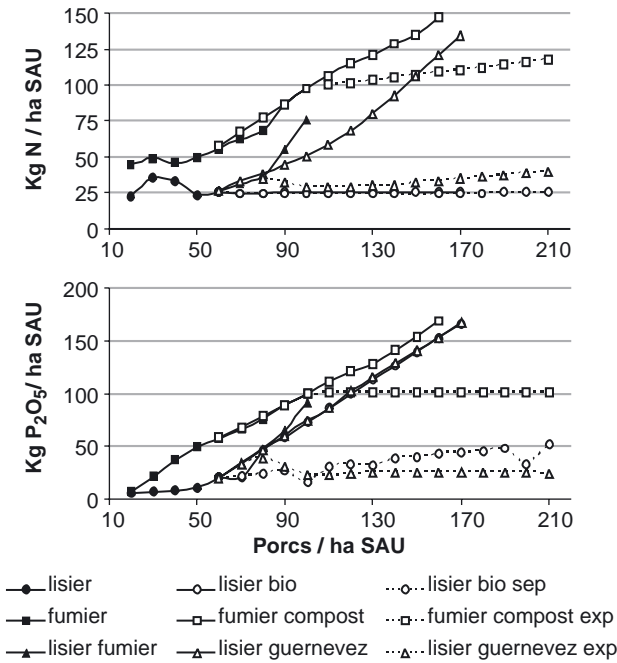


Figure 3 - Bilan apparent de N et de P₂O₅, en fonction du nombre de porcs produits par hectare et par an, pour les différentes filières de gestion des effluents

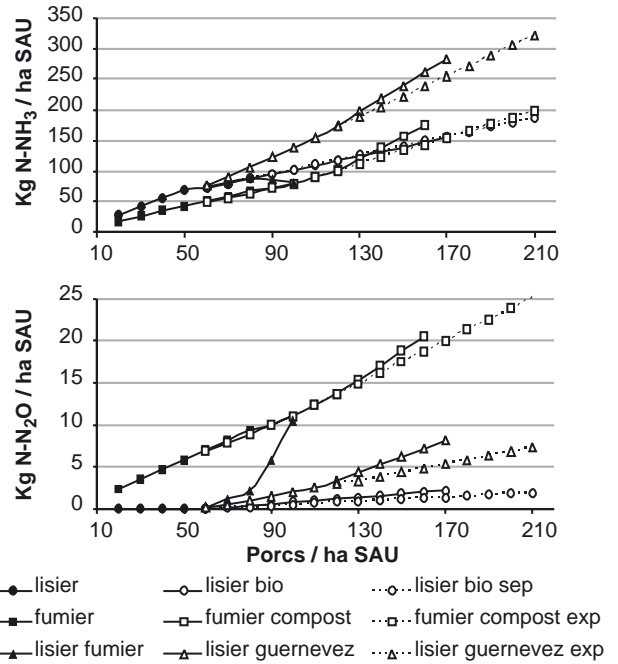


Figure 4 - Dégagement de gaz azotés en fonction du nombre de porcs élevés par hectare et par an, pour les différentes filières de gestion des effluents

celles dans lesquelles les produits issus des traitements sont exportés (tableau 2).

Pour évaluer de façon plus complète l'impact environnemental des différentes filières il faut également prendre en compte la volatilisation des composés azotés. L'élimination de l'azote des effluents, qui augmente le chargement tout en respectant la limite des 170 kg N/ha, se fait principalement sous forme gazeuse : le diazote (N₂) qui ne présente aucun risque pour l'environnement et l'ammoniac (NH₃) et le protoxyde d'azote (N₂O) qui sont respectivement impliqués dans les risques d'acidification et d'effet de serre. On constate ainsi que les dégagements d'ammoniac par ha augmentent avec l'intensification de la production et que la filière avec compostage de lisier présente les émissions les plus élevées (> 100kg/ha à partir de 140 porcs /ha). La production de protoxyde d'azote se révèle être, quant à elle, plus élevée pour toutes les filières basées sur la production de fumier (figure 4). Ainsi, pour un chargement de 160 porcs/ha, une filière avec compostage du fumier produit 21 kg/ha de N₂O contre 2 kg/ha avec l'utilisation du traitement biologique.

2.4. Bilan agronomique et zooteknique

En dessous d'un chargement de 50 porcs/ ha, l'autonomie alimentaire (tableau 2) reste stable et élevée, autour de 75 %, alors qu'elle diminue rapidement au delà. Par ailleurs, en dessous de ce seuil, on note une autonomie légèrement supérieure pour les filières fumiers, comparativement aux filières lisiers. Ceci est principalement lié à une proportion de céréales plus élevée dans l'assolement.

L'autonomie de fertilisation (tableau 2) traduit la capacité qu'a le système de production à générer et utiliser ses

propres matières fertilisantes. Deux scénarios se dessinent selon que l'on soit en filières lisier ou fumier. Pour les filières basées sur l'utilisation du lisier, on observe un accroissement rapide de l'autonomie de fertilisation azotée entre 20 et 50 porcs/ha, puis une stabilisation autour de 65 %. Dans les filières fumier, l'accroissement est plus lent et l'autonomie se stabilise autour de 70 % lorsque l'on dépasse un chargement de 100 porcs/ ha. Ces deux niveaux de chargement (50 et 100 porcs/ha), correspondent respectivement aux seuils pour lesquels les filières lisier et fumier, sans traitement des effluents, atteignent 170 UN/ha SPE.

Dans la filière fumier l'autonomie en paille n'est maintenue qu'en dessous de 40 porcs/ha. Au delà, des achats de paille sont nécessaires, malgré la maximisation de la surface cultivée en céréales à paille. Les systèmes avec compostage du lisier se

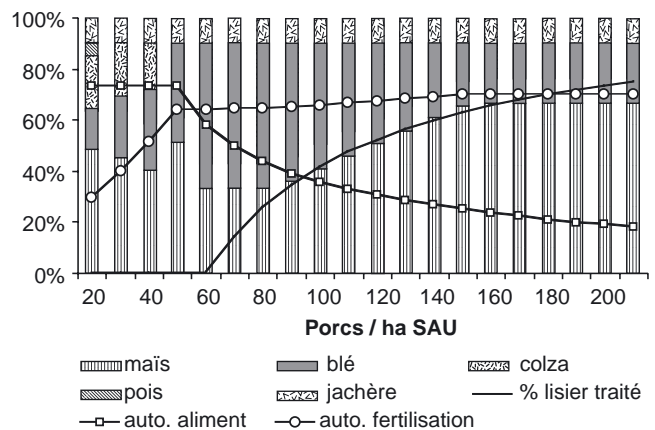


Figure 5 - Évolution de l'assolement, du pourcentage de lisier traité et de l'autonomie alimentaire et de fertilisation, en fonction du nombre de porcs produits par hectare, dans une filière «lisier/lisier composté»

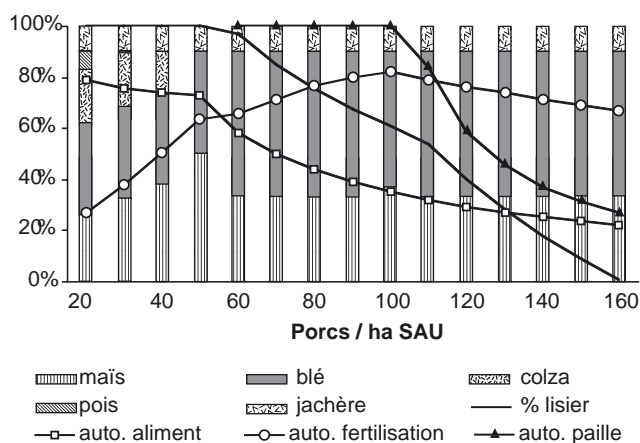


Figure 6 - Évolution de l'assolement, du pourcentage de lisier et de l'autonomie d'alimentation, de fertilisation et d'approvisionnement en paille, dans une filière «lisier/fumier/fumier composté», en fonction du nombre de porcs produits par hectare

rèvent moins exigeants en paille et restent autonomes jusqu'à 160 porcs par ha. Il en va de même pour les filières associant lisier et fumier qui sont autonomes jusque 80 porcs /ha.

L'assolement est largement influencé par le nombre de porcs produits par ha et le choix de la filière de gestion des effluents. Ainsi, pour les filières gérant des lisiers, le maïs est privilégié dans l'assolement ; il est rémunérateur, entre dans la composition des aliments et valorise bien les effluents disponibles (figure 5). Pour les filières où les porcs sont élevés sur litière, l'assolement est essentiellement constitué de céréales à paille (figure 6).

2.5. Influence de la prise en compte de contraintes additionnelles

2.5.1. Influence d'une réglementation sur le phosphore

La principale conséquence de la prise en compte d'un seuil maximal (100 kg P_2O_5 /ha SAU/an) pour l'épandage du phosphore est la diminution de la capacité maximale de production de certaines filières de traitement. C'est le cas du traitement biologique sans séparation de phase dont la capacité de production passe de 170 à 120 porcs/ha. (tableau 2). Seule l'exportation permet alors de maintenir une capacités de production élevée. Par ailleurs, il est intéressant de noter que les filières simplifiées (lisier, fumier, lisier/fumier) ne sont pas touchées par cette contrainte supplémentaire. On note également que cette réglementation entraîne une réduction de la MB au dessus de 80 porcs /ha. Par contre, le bilan d'azote et les dégagements gazeux restent inchangés.

2.5.2. Influence de la stratégie d'alimentation et du potentiel de rendement des cultures

Lorsque l'on utilise un seul aliment au lieu de deux, on observe une réduction de la capacité maximale de production de l'ordre de 10 porcs/ha. La même chose est observée dans l'hypothèse d'une réglementation sur le phosphore lorsque l'on retire le complément phytasique de l'aliment.

La réduction du potentiel de rendements des cultures (de 30 %) et donc de leurs besoins de fertilisation, s'accompagne d'une diminution de la capacité de production des filières simplifiées (lisier, fumier, lisier/fumier) d'environ 30 porcs par hectare. Ce n'est pas le cas pour les filières avec traitement puisque l'augmentation de la proportion d'effluent traité compense le moindre potentiel d'épuration des sols.

Lorsque la proportion de SPE lisier de l'exploitation diminue, on observe une réduction de la capacité de production des filières lisier alors que celle des filières fumier ou lisier/fumier n'est pas affectée.

3. DISCUSSION

Ce travail constitue une approche originale dans l'élaboration de nouveaux systèmes de production porcine. Il formalise le système et met en place un outil de simulation. Comme pour le simulateur réalisé par STONEHOUSE et al (2002), le modèle ainsi construit permet de comparer globalement des systèmes par le biais de leur marge brute et de critères environnementaux.

Dans tous les scénarios, l'augmentation de la « pression » environnementale conduit le modèle à réduire les rejets azotés en limitant les apports à la source. Ainsi, la teneur en MAT des aliments diminue avec l'augmentation du chargement grâce à l'incorporation croissante d'acides aminés industriels dans la ration. La formule limitant au maximum les rejets d'azote est retenue lorsque le système est contraint par la quantité d'azote à épandre. Ces résultats sont conformes à la bibliographie (CANH et al, 1998 ; DOURMAD et al, 1998, JEAN DIT BAILLEUL et al, 2001). L'augmentation de la part d'acides aminés industriels dans la ration s'accompagne d'une hausse de prix de l'aliment, en accord avec les travaux de JEAN DIT BAILLEUL et al (1997) et DOURMAD et al (1995). Le simulateur recherche en fait, le meilleur compromis entre réduction des rejets d'azote et de phosphore et coût de la ration. Des résultats similaires étaient obtenus par POMAR et al (2004) dans le cas d'une réduction des rejets de phosphore.

La simulation des différents systèmes de production offre également une approche intéressante de l'impact des filières sur l'environnement et de leur intérêt agronomique. Il apparaît dans nos simulations que pour un niveau de chargement faible le système qui offre le plus de souplesse, en terme de fertilisation azotée, est celui dans lequel les effluents sont gérés sous forme de lisier. En effet, du fait de la part importante d'azote ammoniacal, cet effluent s'utilise comme à un engrais minéral. Au contraire, la gestion des fumiers, et à fortiori des composts, s'apparente plus à celle des amendements organiques. En accord avec HACALA et al (1999), les simulations soulignent l'intérêt du système mixte lisier + fumier qui offre une grande souplesse et permet d'assurer la quasi totalité de la fertilisation N, P, et K. Par ailleurs, les simulations révèlent l'importance d'intégrer le phosphore dans la problématique globale de la gestion des effluents. En effet, lorsqu'on limite les épandages de cet élément, seules les filières simplifiées et les filières avec exportation des produits de traitement conservent des niveaux de production équivalents à ceux permis par la seule réglementation sur l'azote.

Les systèmes de production peuvent donc être adaptés à plusieurs niveaux (gestion des effluents, assolement, fertilisation, formulation) et ce, d'autant plus facilement que le chargement est faible. Si l'on considère, à titre d'exemple, une exploitation porcine naisseur-engraisseur de taille moyenne pour la Bretagne, à savoir 187 truies présentes pour 50 ha de SAU. La productivité moyenne étant de 20,7 porcs produits par truie présente (ITP GTE Résultats par région – Naisseur – engraisseur), son chargement (en azote) est équivalent de celui d'environ 110 porcs charcutiers produits par hectare (CORPEN, 2003). D'après le modèle, le système optimum pour cette situation, correspond à la filière mixte de gestion des effluents (« lisier + compost de lisier ») avec un rapport lisier/compost de lisier de 55/45. L'assolement est dans ce cas constitué de 26,5 ha de blé, 18,5 ha de maïs et de 5 ha de jachère. Une seconde option serait d'utiliser une station biologique sans séparation de phase pour traiter 64 % du lisier produit. L'assolement serait alors composé de 23 ha de maïs, 22 ha de blé et 5 ha de jachère.

Ce modèle constitue une première étape dans la recherche de nouveaux systèmes de production porcine. Cette phase de conceptualisation était nécessaire, mais elle reste malgré tout insuffisante. En particulier, le modèle doit être élargi aux autres phases de production, naissage et post sevrage. D'autre part les coûts de traitement (TEFFÈNE, 2002) et d'épandage utilisés pour la détermination de la MB sont supposés fixes alors que des économies d'échelle existent. En pratique il faudra considérer le choix des outils de traitement selon le volume de lisier à traiter : les unités mobiles de traitement seront privilégiées pour de faibles volumes et les stations individuelles pour des volumes élevés de lisier à traiter.

Il serait également intéressant de mieux prendre en compte l'incidence d'une modification des systèmes sur les temps de travaux. Ainsi, par exemple, l'étude de LALIGANT et al (2002), suggère des besoins en main d'œuvre plus importants pour les porcs élevés sur litières. L'achat de terres est également une possibilité à envisager dans ce genre de problématique puisque, comme le montrent STONEHOUSE et al (2002) dans le contexte Canadien, cela pourrait dans certains cas être plus intéressant que l'investissement dans une station de traitement des effluents.

CONCLUSION

La modélisation des systèmes de production apparaît particulièrement intéressante pour comprendre leurs évolutions face aux politiques environnementales et aux changements de pratiques agricoles. Il est intéressant de voir comment développement économique et protection de l'environnement peuvent fonctionner de pair et être intégrés dans des modèles communs (HOFKES, 1996). Notre étude démontre, comme celle de TEFFÈNE et al (1999), l'intérêt qu'il y a à optimiser simultanément l'atelier d'élevage et l'utilisation des surfaces disponibles sur l'exploitation. Les systèmes de production ainsi optimisés deviennent plus autonomes et donc plus durables. La mise en place réfléchie des différentes filières de gestion et de traitement des effluents est également un gage de productivité et de réussite économique.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été conduit dans le cadre du programme «Porcherie verte» dont il a reçu un soutien financier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARBAULT R., 2001. In «Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision». 37-49. INRA-CIRAD éd.
- BELINE F., DAUMER M.L., QUIZIOU F., 2003. Journée de la Rech. Porcine, 35, 29-34.
- BROOKE A., KENDRICK D., MEERAUS A., 1992. GAMS – Release 2.25 – A Users Guide. The Scientific Press, San Francisco.
- CANH T.T., AARNINK A.J.A., SCHUTTE J.B., SUTTON A., LANGHOUT D.J., VERSTEGEN M.W.A., 1998. *Livest. Prod. Sci.*, 56, 181-191.
- COMIFER, 1996. Calcul de la fertilisation azotée des cultures annuelles. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. COMIFER, 85p.
- COMIFER, 1997. Eléments complémentaires à la méthode de raisonnement de la fertilisation PK permettant d'aider à sa mise en œuvre. COMIFER, 28 p.
- CORPEN, 2003. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. CORPEN, 85p.
- DOURMAD J.Y., LE MOUËL C., RAINELLI P., 1995. *Prod. Anim.*, 8, 135-144.
- DOURMAD J.Y., LETERME P., MORVAN T., PEYRAUD J.L., VERTES F., 1998. In "L'eau dans l'espace rural : production végétale et qualité de l'eau". INRA Ed. 411p.
- HACALA S., DOLLE J.B., LE GALL A., 1999. Lisier ou fumier : quelle chaîne choisir de l'étable au champ. Les éleveurs de ruminants acteurs de la qualité de l'eau. Institut de l'Élevage.
- HOFKES M.W., 1996. *Economic Modelling*, 13, 333-353.
- JACOBSEN B.H., PETERSEN B.M., BERNTSEN J., BOYE C., SØRENSEN C.G., SØGAARD H.T., HANSEN J.P., 1998. An integrated economic and environmental farm simulation model (FASSET). 102p. Copenhagen, Denmark. Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics.
- JEAN DIT BAILLEUL P., RIVEST J., POMAR C., 1997. *Journée Rech. Porcine*, 29, 299-304.
- JEAN DIT BAILLEUL P., RIVEST J., DUBEAU F., POMAR C., 2001. *Livest. Prod. Sci.*, 72, 199-211.
- LALIGANT D., RIMOUX D., DUTERTRE C., 2002. *Techni-Porc*, 25(6), 15-18.
- LE MOIGNE J.L., 1984. *Théorie du système général*. PUF, Paris, 320p.
- LEVASSEUR P., LE BRIS B., GORIUS H., LE COLZER Y., 2003. *Techni-Porc*, 26(1), 5-11.
- POMAR C., DUBEAU F., LETOURNEAU MONTMINY M.P., MAHÉ M., JULIEN P.O., JONDREVILLE C., 2004. *Journées de la Rech. Porcine*, 36, 251-258.
- STONEHOUSE D.P., DE VOS G.W., WEERSINK A., 2002. *Agric. Systems*, 73, 279-296.
- TEFFÈNE O., PLOUCHART B., LONGCHAMP J.Y., CASTAING J., BAUDET J.J., HEMIDY L., LANDAIS E., SALAÛN Y., 1999. *Journée Rech. Porcine*, 31, 77-84.
- TEFFÈNE O., 2002. *Techni-Porc*, 25(4), 7-15.