

Construire des indicateurs pertinents : un enjeu de la gestion environnementale des élevages porcins

Les réglementations européennes imposent aux élevages porcins de mettre en place des mesures permettant d'améliorer leur système de production en vue de limiter les rejets polluants. Des fermes porcines ont été étudiées, des indicateurs ont été construits afin d'évaluer l'impact sur l'environnement des élevages. Il reste désormais aux éleveurs à se les approprier afin d'en faire des véritables outils de gestion environnementale.

F

Face aux nécessités de la protection environnementale, l'Union européenne contraint ses membres, dont la France, à des obligations de résultats. Ainsi, la directive sur les « eaux brutes » impose des teneurs maximales en nitrates dans les eaux de surface, la directive 2001/81/CE fixe des plafonds d'émission nationaux, notamment pour l'ammoniac, et les engagements pris au titre du protocole de Kyoto prévoient une réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2008-2012 par rapport à l'année 1990.

Les élevages porcins contribuent à ces impacts environnementaux. Ils peuvent être à l'origine d'une pollution diffuse des eaux et des sols en raison d'une mauvaise adéquation entre la production d'effluents et les capacités locales à les résorber. Le déséquilibre des écosystèmes peut se manifester par des phénomènes d'eutrophisation de la ressource en eau, l'accumulation de composés stables dans les sols altérant leur fonction fixatrice (cas du phosphore en excès) ou provoquant des phénomènes de toxicité pérennes (cas des métaux lourds). Les émissions gazeuses provenant des bâtiments d'élevage, des unités de stockage et de l'épandage des effluents participent à

l'acidification des milieux (émissions d'ammoniac NH_3) et au réchauffement climatique (émissions de gaz à effet de serre : principalement méthane CH_4 et protoxyde d'azote N_2O). Les élevages consomment également des ressources naturelles difficiles à gérer, comme l'eau, ou épuisables, comme les combustibles d'origine fossile. Enfin, ils peuvent aussi être sources de nuisances (olfactives ou sonores), lorsqu'ils sont implantés au voisinage de tiers ou dans des zones touristiques drainant une fréquentation soutenue.

Des leviers d'action sont à rechercher à différentes échelles, mais notamment à celle de l'exploitation, à laquelle l'éleveur prend les décisions relatives au système de production et aux pratiques. Des contraintes réglementaires visent à contenir ces impacts environnementaux des élevages : directive nitrates, nouvelle loi sur l'eau, Programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole... Cependant, aussi efficaces qu'elles puissent être, elles motivent peu et perdent parfois de leur pédagogie initiale. Ponctuellement, des diagnostics environnementaux s'appuyant sur des outils (Dialecte, Diage, Planète...) peuvent être mis en œuvre dans les élevages par des conseillers et donner lieu à des programmes d'amélio-

ration. Mais ces opérations sont limitées dans le temps, concernent peu d'élevages et apparaissent parfois aux éleveurs comme des « boîtes noires ». C'est pourquoi il importe de les doter d'outils qui leur permettent de quantifier la pression exercée par leur exploitation sur l'environnement, de suivre leurs performances environnementales dans le temps et de comparer ces performances à celles d'autres élevages, tout en liant ces diagnostics à des variables d'action opérationnelles.

Ici, on s'attache à proposer des indicateurs de performance environnementale permettant à la fois une utilisation individuelle en élevage et la comparaison, au sein d'un réseau, des valeurs de l'élevage à des « références » (valeurs moyennes de groupes d'élevages homogènes). Ont ainsi été définis neuf indicateurs à l'échelle de l'atelier porcin et seize autres, complémentaires, à l'échelle de l'exploitation. Le présent article concernera seulement les neuf premiers : une première partie expose les modalités de construction des indicateurs ; dans une seconde partie, des résultats d'application en élevage sont présentés, de même que les possibilités d'utilisation de chaque indicateur aux échelles individuelle ou collective.

Démarche suivie : construction d'indicateurs et mise en œuvre de scénarios

L'échelle retenue pour définir les indicateurs est celle de l'atelier porcin, intégré dans l'exploitation. Les activités liées à l'élevage des animaux sont prises en compte ainsi que celles liées à la gestion des effluents jusqu'à leur usage final dans l'exploitation (épandage ou exportation). Ainsi, la valorisation des effluents d'élevage sur les surfaces exploitées en propre est appréhendée, en incluant les pratiques de fertilisation et les émissions gazeuses associées. Par contre, la gestion des produits

phytosanitaires, le stockage amont des engrais minéraux et les pratiques de fertilisation sur des parcelles externes à l'exploitation prêtées par d'autres agriculteurs voisins ne sont pas prises en compte. Dans le présent article, seule l'échelle de l'atelier porcin est abordée (figure 1). Les principaux aspects et impacts environnementaux (encadré 1) suivants ont été considérés : rejets d'effluents (azote, phosphore et métaux lourds), émissions gazeuses (ammoniac et gaz à effet de serre), production de déchets, consommations d'eau et d'énergie, émissions d'odeurs. Les aspects liés aux pathogènes, à l'insertion paysagère, à la biodiversité et aux émissions sonores ne sont pas abordés en raison d'un manque de connaissance et/ou de leur nature multicritère. Par ailleurs, seules les émissions ou consommations directes, maîtrisables par l'éleveur, sont retenues ; les émissions indirectes, liées à la production d'intrants, n'ont donc pas été prises en compte. Pour chaque aspect environnemental, un objectif d'amélioration a été formalisé (tableau 2) et un indicateur proposé.

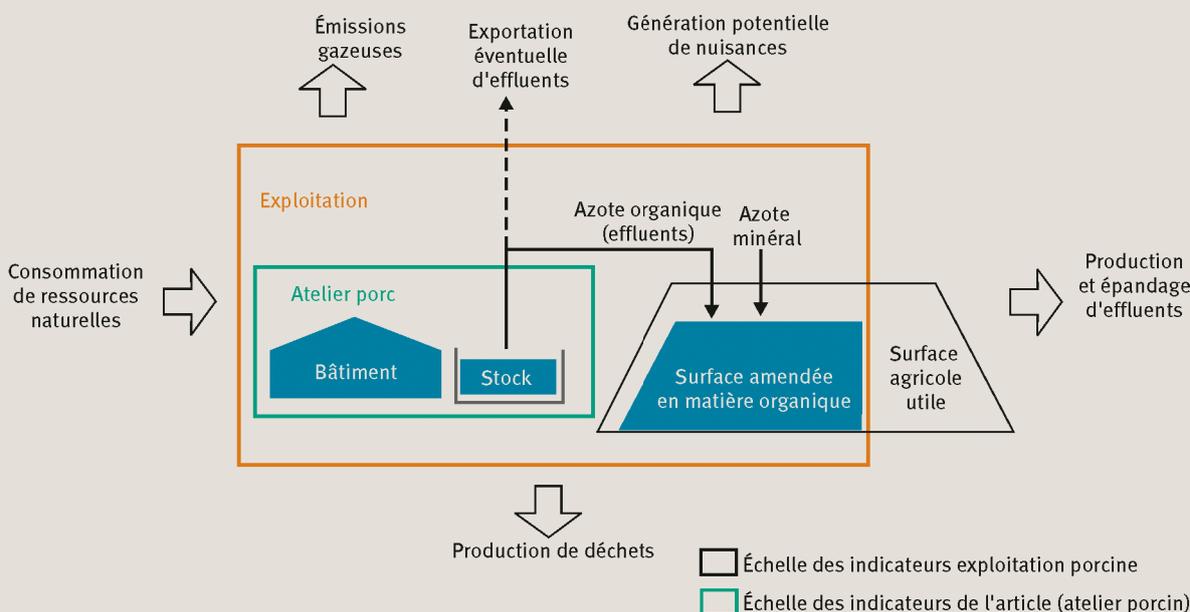
Les qualités recherchées des indicateurs dépendent de leur cadre d'utilisation (selon que l'évaluation concerne un élevage particulier ou un réseau). De ce fait, les données et paramètres nécessaires à leur calcul ont été adaptés en fonction des objectifs suivants :

- permettre des analyses sur la sensibilité des résultats aux évolutions d'élevage. Les indicateurs quantitatifs sont préférés pour leur robustesse ;

1 DÉFINITIONS AFNOR (2004)

Un aspect environnemental correspond aux « activités, produits ou services d'un organisme susceptibles d'interactions avec l'environnement ». Un impact environnemental correspond à « toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme ».

1 Échelle de définition des indicateurs



- ▶ permettre les comparaisons entre élevages, dans le cadre d'un réseau, ou entre années pour un même élevage ayant subi des évolutions. Les résultats (émissions ou consommations) sont exprimés par kilogramme de porc produit ;
- répondre au contexte français avec des indicateurs pertinents. Leur paramétrage a été adapté aux spécificités des élevages français et établi à partir de publications scientifiques ;
- utiliser des données pour le calcul des indicateurs facilement accessibles en élevages ;
- utiliser les paramètres de fonctionnement des ateliers déjà caractérisés dans le cadre des réseaux de GTE¹ et GTTT² de l'IFIP (renseignés par plus de 40 % des élevages porcins de plus de trente truies en 2005). Enfin, les qualités de pertinence, applicabilité et sensibilité des indicateurs ont été vérifiées lors d'un test en élevage.

Pour valider l'applicabilité des indicateurs en élevage, le temps de mise en œuvre (collecte des données et traitement) a été mesuré, de même qu'a été évaluée, par enquête auprès des éleveurs, la facilité d'obtention des données requises. Les résultats obtenus ont été comparés entre eux pour mesurer la variabilité des indicateurs entre élevages, en différenciant les orientations naisseur-engraisseur et post-sevreur engraisseur. Les indicateurs d'un élevage naisseur-engraisseur ont été calculés selon quatre scénarios concernant l'engraissement : deux modalités d'alimentation (alimentation standard et alimentation biphasé) et deux niveaux d'efficacité alimentaire (IC³ performant de 2,88 ou dégradé de 2,98). Les résultats ont également été comparés à des références CORPEN⁴ (2003) (encadré ②) pour évaluer l'apport spécifique des indicateurs.

② RÉFÉRENCES CORPEN (2003)

- Émissions N-NH₃ = 25 % de l'azote excrété en bâtiment ; 5 % de l'azote stocké.
- Rejets N = 20,4 kg N excrété/truie présente/an ; 0,56 kg N excrété/porcelet / an ; 3,79 kg N excrété/porc / an
- Rejets P205 = 4,80 kg P excrété/truie présente/an ; 0,11 kg P excrété/porcelet/an ; 0,63 kg P excrété/porc/an
- Rejets Cu = 29,6 g Cu excrété/truie présente/an ; 6,5 g Cu excrété/porcelet/an ; 5,7 g Cu excrété/porc/an
- Rejets Zn = 176 g Zn excrété/truie présente/an ; 5 g Cu excrété/porcelet/an ; 32 g Cu excrété/porc/an

1. GTE : gestion technico-économique.

2. GTTT : gestion technique du troupeau de truies.

3. IC : indice de consommation exprimé en kg d'aliment ingéré pour le gain d'un kilo de poids vif (indicateur GTE).

4. CORPEN : Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement.

Des indicateurs environnementaux bâtis sur les consommations, rejets et émissions des élevages

Le tableau ① présente les indicateurs. Près de cent cinquante données ont été mobilisées pour leur calcul dans un élevage naisseur-engraisseur dont un tiers proviennent de la GTE GTTT.

Les indicateurs sont tous basés sur la quantification annuelle d'un rejet (ou d'une émission) rapporté au kilo de porc produit. Le choix a été fait de privilégier des émissions ou rejets significatifs en élevage porcin et sensibles, dans la mesure du possible, aux aspects structurels (type de bâtiment, type d'équipement), aux pratiques (alimentation) et aux performances techniques (IC).

L'évaluation quantitative nécessaire aux différents indicateurs repose sur divers modes d'évaluation :

- dans les situations où l'élevage dispose d'appareils de mesure (cas des compteurs d'eau et d'électricité), un relevé direct est utilisé ;
- lorsque la quantification porte sur des éléments non mesurés par l'éleveur mais tracés dans des filières de gestion (cas des déchets), les tonnages annuels sont appréhendés à partir des documents disponibles (factures, bordereaux...) ;
- enfin, lorsque l'estimation concerne des éléments difficilement mesurables en élevage (pour des raisons de fiabilité des mesures, de coût...), tels les rejets en azote, en phosphore, en cuivre et en zinc..., des modèles publiés et validés ont été recherchés. Cette approche offre l'avantage de permettre une évaluation dans des situations complexes en tenant compte de paramètres techniques propres à l'élevage (efficacité technique...).

À défaut de tels modèles pour certains aspects environnementaux (odeurs...), des facteurs d'émission standards ont été utilisés ; le caractère fruste d'une telle approche peut constituer une limite pour la pertinence de l'indicateur en situation, une partie de la variabilité inter-élevages observée pouvant provenir de l'imprécision de l'indicateur lui-même.

Test des indicateurs en élevages

Les indicateurs ont été renseignés dans sept élevages porcins (tableau ②), dont quatre naisseurs-engraisseurs (NE) et trois post-sevreur-engraisseurs (PS-E). Le temps de collecte des données a représenté environ une heure par élevage, sans préparation préalable de l'éleveur. Les éleveurs ont confirmé, lors de l'enquête, le fait que les données étaient le plus souvent faciles à fournir car déjà formalisées dans l'élevage, sauf pour les quantités de déchets, les consommations d'eau et d'énergie. En effet, les déchets n'étaient qu'en très faible partie éliminés dans des filières agréées et la quantité était difficile à estimer *a posteriori*. Pour les consommations d'eau et d'énergie, la difficulté d'évaluation tient au fait que les compteurs

1 Présentation des indicateurs environnementaux

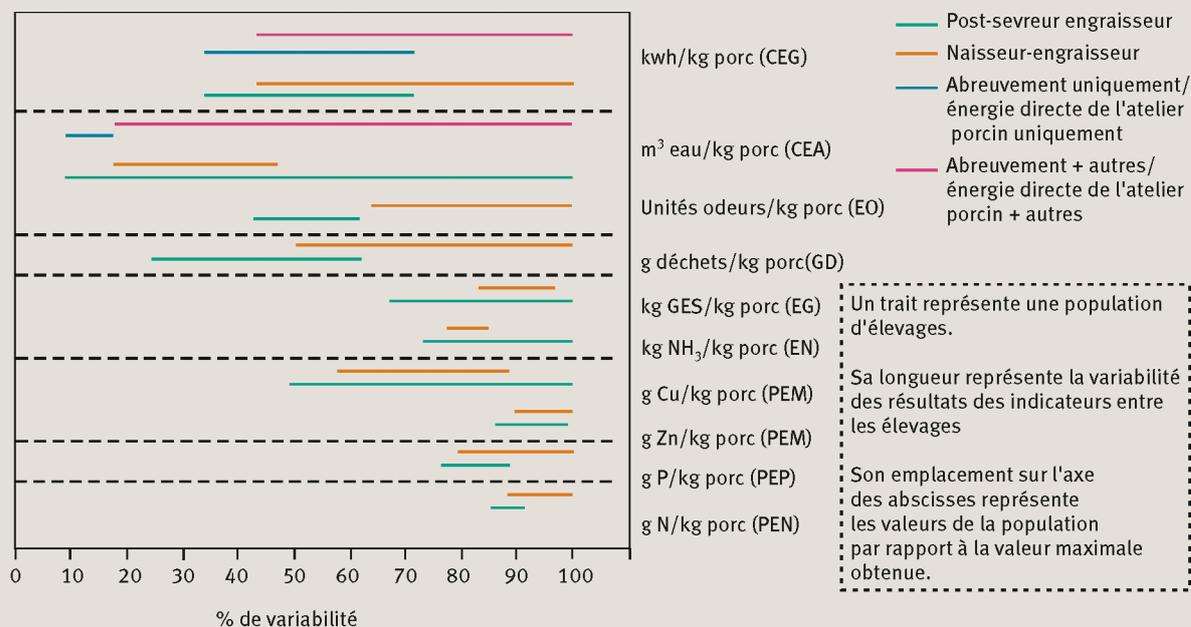
Indicateur par kg de porc produit		Objectif recherché	Formule	Références
PEN	Quantité annuelle N excrété (g N/kg porc)	Limiter les quantités d'azote à gérer via les effluents	$N \text{ excrété filière lisier}^{(a)}$ $(\text{kg N/an}) + N \text{ excrété filière litière}^{(a)}$ (kg N/an) $\times 1\,000/\text{kg de porc produit}^{(b)}$ (kg PV/an)	Modèle BRS (bilan réel simplifié) ^(a) Données GTE GTTT ^(b)
PEP	Quantité annuelle P ₂ O ₅ excrété (g N/kg porc)	Limiter les quantités de phosphore à gérer via les effluents	$P_2O_5 \text{ excrété filière lisier}^{(a)}$ $(\text{kg P}_2O_5/\text{an}) + P_2O_5 \text{ excrété filière litière}^{(a)}$ $(\text{kg P}_2O_5/\text{an})$ $\times 1\,000/\text{kg de porc produit}^{(b)}$ (kg PV/an)	Modèle BRS ^(a) Données GTE GTTT ^(b)
PEM	Quantités annuelles de Cu et Zn excrétés (g Cu ou Zn/kg porc)	Limiter les quantités de cuivre et de zinc à gérer via les effluents	$Cu \text{ excrété}^{(a)}$ (kg Cu/an) $\times 1\,000/\text{kg de porc produit}^{(b)}$ (kg PV/an) Même formule pour le Zn	Modèle BRS ^(a) Données GTE GTTT ^(b)
EN	Emissions annuelles de NH ₃ (kg NH ₃ /kg porc)	Limiter les émissions d'ammoniac	NH ₃ bâtiment et stockage $(\text{kg NH}_3/\text{an})^{(c)(d)(e)(f)(g)}$ /kg de porc produit ^(b) (kg/an)	Modèles bât et stock ^{(c)(e)} Facteur stock ^(g) Modèles traitement ^{(e)(f)} Facteurs abattement ^(d) Données GTE GTTT ^(b)
EG	Emissions annuelles de GES (Kg eq CO ₂ /kg porc)	Limiter les émissions de gaz à effet de serre	GES (CH ₄ et N ₂ O) bâtiment et stockage $(\text{kg eq CO}_2/\text{an})^{(e)(h)(i)(j)}$ /kg de porc produit ^(b) (kg/an)	Modèles bât stock ^{(e)(g)(h)} Modèles traitement ^{(e)(f)} Facteur bât ^{(h)(g)} Données GTE GTTT ^(b)
GD	Quantité annuelle de déchets générés (g déchets/kg porc)	Limiter la génération de déchets de l'élevage	Déchets banals ou dangereux $(\text{kg déchets/an}) \times 1\,000/\text{kg de porc produit}^{(b)}$ (kg PV/an)	Données GTE GTTT ^(b)
EO	Quantité annuelle d'odeurs émises (unités odeurs/kg porc)	Limiter les odeurs émises par l'élevage	Odeurs élevage ^{(i)(j)(k)} $(\text{unités odeurs/an})/\text{kg de porc produit}^{(b)}$ (kg PV/an)	Facteurs ^{(i)(j)(k)} Données GTE GTTT ^(b)
CEA	Quantité annuelle d'eau consommée (m ³ /kg porc)	Limiter les consommations d'eau	Eau élevage porcin (m ³ /an)/kg de porc produit ^(b) (kg PV/an)	Données GTE GTTT ^(b)
CEG	Quantité annuelle d'énergie directe consommée (kWh/kg porc)	Limiter les consommations d'énergie directe	Energie élevage porcin (kWh/an)/kg de porc produit ^(b) (kg PV/an)	Données GTE GTTT ^(b)

(a) CORPEN (2003) ; (c) Dourmad *et al.* (2002), (d) BREF (2003), (e) Rigolot *et al.* (à paraître), (f) Loyon *et al.* (2005), (g) Gac *et al.* (2006), (h) IPCC (2006), (i) Guingand (2003), (j) Verdoes et Ogink (1997), (k) Hayes *et al.* (2006).

2 Principales caractéristiques des élevages porcins utilisés pour le test des indicateurs

Caractéristiques	NE 1	NE 2	NE 3	NE 4	PS-E 1	PS-E 2	PS-E 3
Nombre de truies	339	270	262	360			
Nombre de porcs produits/an	6 526 (dont 1 934 porcelets)	6 201	4 664	8 668	2 478	3 790	4 152
Surface agricole utile	108	167	82	105	45	60	58
Traitement	X						
Fabrication d'aliments à la ferme	X	Partielle	Partielle				Partielle
Couverture fosse		1/2		X			X

2 Pourcentage de variabilité des résultats des indicateurs entre les sept élevages par orientation



► ne sont pas toujours présents (cas des compteurs d'eau) ou (pour l'électricité notamment) spécifiques des mêmes activités d'un élevage à l'autre (intégration d'une fabrique d'aliments à la ferme, d'une station de traitement des lisiers, de l'habitation...). En aval de la collecte des données, deux heures supplémentaires sont nécessaires au calcul des indicateurs (dont quinze minutes pour la saisie et le reste pour vérifier la cohérence des résultats en les comparant à des références).

Évaluation des indicateurs

Variabilité des résultats des indicateurs

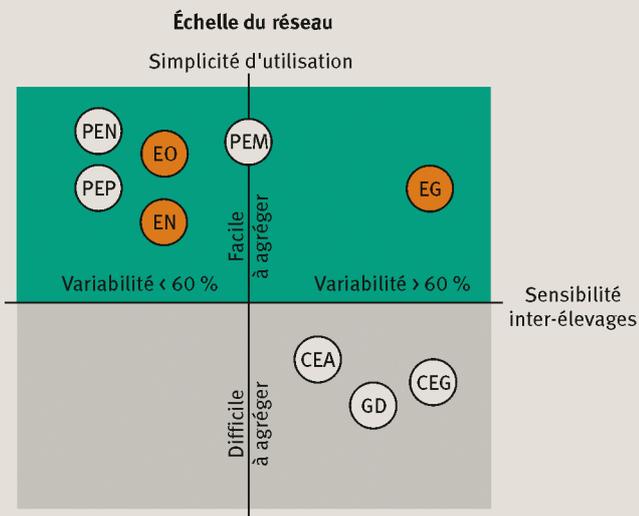
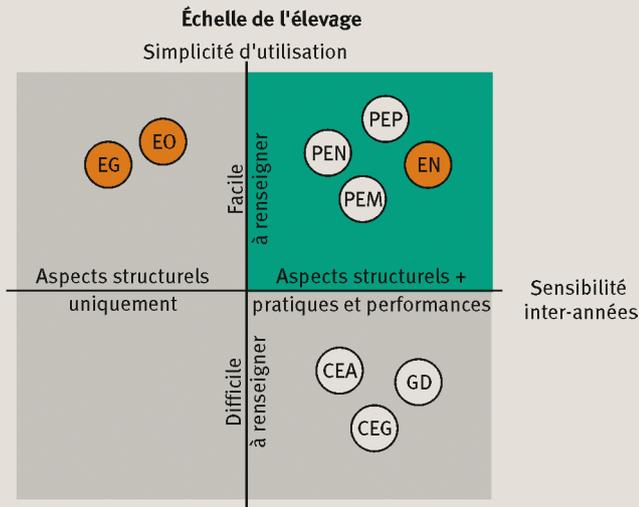
La figure 2 présente la variabilité des résultats obtenus dans les sept élevages, en les distinguant selon leur orientation. Les résultats relatifs à l'azote (PEN), au phosphore (PEP) et au zinc (PEM) sont peu variables d'un élevage à l'autre (variabilité < 21 %), témoignant de pratiques proches entre éleveurs. Des valeurs plus élevées sont observées chez les NE, les rejets des truies s'ajoutant à ceux des animaux en croissance. Au contraire, les résultats sont variables pour les teneurs en cuivre des aliments (PEM) : de 120 à 150 mg/kg en post-sevrage, et de 10 à 20 mg/kg en engraissement.

S'agissant des indicateurs relatifs aux émissions gazeuses (EN et EG), les élevages NE devraient également présenter des valeurs supérieures à celles des élevages PS-E (prise en compte des truies). Mais la présence d'un procédé de traitement et d'une couverture de fosse dans quatre élevages NE impacte les émissions dans ces élevages et modifie le différentiel attendu entre orientations.

Concernant les indicateurs CEA, CEG et GD, on observe de fortes variations entre élevages. La variabilité des consommations d'eau et d'énergie s'explique en partie par les différences de périmètre des installations connectées aux compteurs (les consommations d'eau uniquement liées à l'atelier porcin sont peu variables). Par ailleurs, des études ont montré, pour les consommations d'énergie directes de l'atelier porcin exprimées par truie (kWh/truie), une variabilité d'environ 30 % (ADEME, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2006). Pour les déchets, la variabilité des résultats est due majoritairement à l'approximation dans l'estimation des gisements. Des écarts entre NE et PSE sont observés du fait, chez les premiers, de la production de déchets spécifiques à l'atelier naisseur (tapis de mise bas, matériel d'insémination, piquants, coupants...).

Pour l'indicateur EO (odeurs), la discrimination entre élevages est le fait, outre de l'activité (NE vs PS-E compte tenu de la contribution importante des truies

3 Classement des indicateurs selon leur niveau de sensibilité et leur applicabilité en élevage



- Domaine de connaissances limitées
- Zone où se situent des indicateurs facilement exploitables
- Zone où se situent des indicateurs difficilement exploitables à ce stade

aux émissions globales), de la productivité induisant des proportions variables des différents types d'animaux (troues vs porcs) auxquels sont attachés des facteurs d'émission différents. Mais l'analyse doit rester circonspecte, compte tenu du caractère fruste de l'évaluation. Cet indicateur devra être affiné pour mieux intégrer des paramètres propres à chaque élevage.

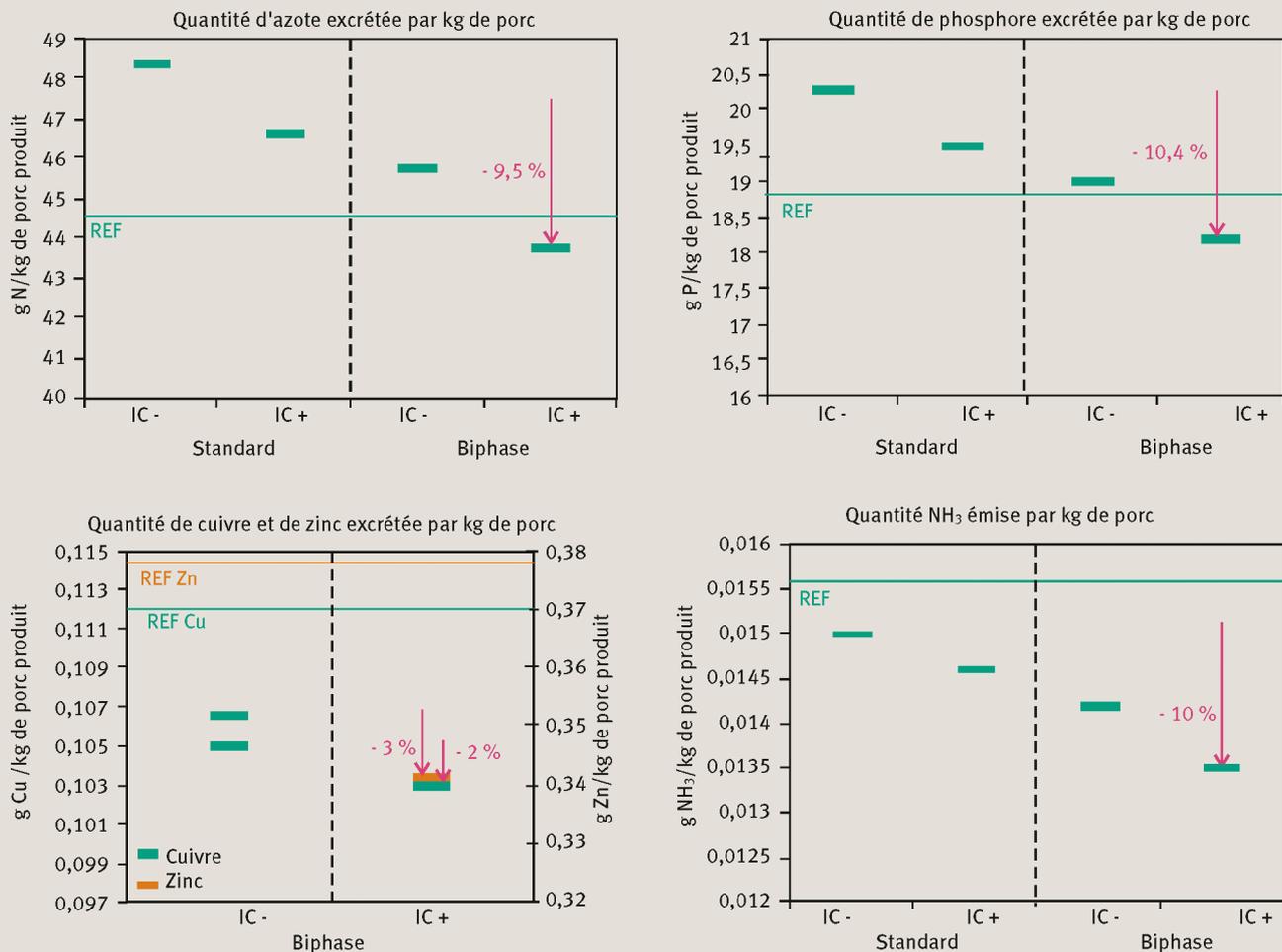
Analyse des qualités perçues des indicateurs

L'adaptation des indicateurs à une utilisation en élevage et en réseau a été caractérisée (figure 3). Pour l'utilisation en élevage, deux critères ont été retenus : la simplicité d'utilisation de l'indicateur (résultat du test en élevage : temps et facilité à le calculer) et son niveau de sensibilité interannuelle. La sensibilité est directement déduite des modalités de calculs (tableau 2) utilisées pour quantifier les émissions et rejets. Deux catégories sont identifiées : les indicateurs sensibles aux aspects structurels (plutôt modifiés sur le long terme : nombre de porcs, type de sol, type d'équipement) et ceux également sensibles aux pratiques d'alimentation et aux performances techniques de l'élevage, plus conjoncturelles.

Cinq indicateurs semblent d'emblée aisément applicables en situation et sensibles aux évolutions annuelles, donc bien adaptés à un suivi d'élevage : PEN, PEP, PEM, EN, CEG. Les indicateurs EG et EO méritent d'être évalués mais sont peu susceptibles de variations ultérieures importantes.

Pour caractériser l'aptitude des indicateurs à une valorisation au sein d'un réseau, deux critères ont été retenus : l'aptitude à l'agrégation des indicateurs et leur niveau de variabilité inter-élevages relevé lors du test. Il apparaît ainsi que six indicateurs sont immédiatement intégrables et exploitables dans un réseau : PEN, PEP, PEM, EN, EG, EO. Les indicateurs CEA, CEG et GD, moyennant la mise en place de moyens de mesure et sur un périmètre commun à tous les élevages, peuvent également être valorisés dans le cadre d'un réseau. Ainsi, les éleveurs devront disposer de compteurs d'eau et d'énergie spécifiques aux activités réalisées en bâtiment : abreuvement, lavage, cooling éventuel pour l'eau et ventilation, éclairage et chauffage pour l'énergie. Enfin, le calcul de GD nécessitera de progresser dans la connaissance du gisement : pesées par l'éleveur de chaque type de déchet et comptabilisation des quantités annuelles via les achats.

4 Variations des valeurs obtenues pour quatre indicateurs selon le scénario (modalité d'alimentation et niveau de l'indice de consommation)



► Sensibilité des indicateurs aux variables scénarisées et comparaison à des références

La figure 4 présente les différentes valeurs des indicateurs PEN, PEP, PEM et EN, (indicateurs applicables et sensibles) obtenues en appliquant à un élevage donné des scénarios sur l'alimentation et l'indice de consommation. Les quantités d'azote et de phosphore excrétées, ainsi que la quantité d'ammoniac émise par kilo de porc, diminuent d'environ 10 % lorsque l'éleveur passe d'une alimentation standard avec un IC dégradé (IC-) à une alimentation biphase avec un IC performant (IC+). Les quantités en cuivre et zinc diminuent d'environ 4 % avec une amélioration de l'IC.

Le positionnement des résultats obtenus par rapport à des valeurs de références appuie la crédibilité des calculs réalisés. Pour le cuivre et le zinc, les valeurs

très inférieures aux valeurs de référence s'expliquent par le fait que les valeurs de référence sont établies sur la base de taux d'incorporation théoriques de ces éléments dans les aliments (réglementation européenne), supérieurs à ceux réellement appliqués dans l'élevage.

Les résultats obtenus (niveaux et variations selon le scénario, écarts aux valeurs de référence) font globalement ressortir une bonne sensibilité de la plupart des indicateurs qui les rend aptes à une utilisation opérationnelle : analyse de leviers d'action au niveau individuel ou comparaison entre élevages dans le cadre d'un réseau. Cette dernière suppose bien évidemment l'adhésion d'un nombre suffisant d'éleveurs à la démarche, permettant de constituer des groupes de référence suffisamment homogènes (par leurs caractéristiques structurelles) et d'appréhender convenablement la variabilité intra-groupe.

Des indicateurs à intégrer comme outils de gestion environnementale

Neuf indicateurs ont été construits spécifiquement pour l'atelier porcin, en lien avec des impacts environnementaux identifiés. Ils sont paramétrés sur la base de données déjà formalisées et disponibles dans les élevages et sont, dans la mesure du possible, connectés à la productivité des élevages. Ils prennent en compte les derniers acquis scientifiques intégrés dans des modèles, notamment ceux concernant les émissions de gaz et d'odeurs. L'application de ces indicateurs dans des élevages a permis d'évaluer leur sensibilité à des variations inter et intra-élevage ; en ce sens, ils peuvent constituer des outils pour la gestion environnementale et apportent une réelle plus value par rapport aux références classiques utilisées. Cependant, certains requièrent la mise en place de mesures adaptées en élevage pour être correctement évalués. Une mise en place effective de ces indicateurs dans les élevages, puis une intégration au sein d'un réseau, supposent aussi de motiver les éleveurs à une véritable optimisation environnementale, au-delà de la seule observation de contraintes réglementaires. Un accompagnement des éleveurs devra aussi être mis en place pour les aider à interpréter les résultats et à identifier des leviers d'action.

Les indicateurs définis prennent en compte les consommations, émissions et rejets directs de l'exploitation. Cependant, les émissions de gaz à effet de serre et les consommations d'énergie indirectes liées aux intrants (aliments et fertilisants) classiquement prises en compte dans les analyses de cycle de vie peuvent avoir une incidence majeure sur les impacts environnementaux d'un système. C'est pourquoi, en l'état, les indicateurs proposés permettent de suivre les performances d'un système donné maîtrisé par l'éleveur, mais n'éclairent pas totalement les choix de systèmes. Ils pourront toutefois être complétés en ce sens. ■

Les auteurs

Sandrine Espagnol,
IFIF, Institut de la filière porcine,
La Motte au Vicomte
BP 35104
35654 Le Rheu Cedex
sandrine.espagnol@ifip.asso.fr

Solène Lagadec
IFIF, Institut de la filière porcine,
La Motte au Vicomte
BP 35104
35654 Le Rheu Cedex
solene.lagadec@ifip.asso.fr

Yvon Salün
IFIF, Institut de la filière porcine,
La Motte au Vicomte
BP 35104
35654 Le Rheu Cedex
yvon.salun@ifip.asso.fr

Cyrille Rigolot
Institut national de la recherche
agronomique,
INRA, centre de Rennes,
UMR Systèmes d'élevage, nutrition
animale et humaine,
Équipe Élevage, environnement et bien-être,
35590 Saint-Gilles
cyrille.rigolot@rennes.inra.fr

Remerciements

Étude financée par l'ADEME et le programme national de développement agricole et rural.

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- **CORPEN**, 2006, *Des indicateurs AZOTE pour gérer des actions de maîtrise des pollutions à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du territoire*, octobre 2006, 112 p.
- **CORPEN**, 2003, *Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs*, CORPEN (eds), Paris, France, 41 p.
- **GAC, A., BELINE, F., BIOTEAU, T.**, 2006, *Flux de gaz à effet de serre (CH₄, N₂O) et d'ammoniac (NH₃) liés à la gestion des déjections animales : synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. Rapport final pour l'ADEME*, 79 p.
- **GUINGAND, N.**, 2003, *Qualité de l'air en bâtiment et stades physiologiques*, *TechniPorc*, vol. 26, n° 3, p. 17-24.
- **IPCC**, 2006, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, 21 p.
- **RIGOLOT, C., ESPAGNOL, S., ROBIN, P., HASSOUNA, M., BELINE, F., PAILLAT, J.-M., DOURMAD, J.-Y.**, (à paraître), *Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: Effect of animal housing, manure storage and treatment practices*, Submitted.

► Consulter l'ensemble des références
sur le site de la revue www.set-revue.fr