

Un outil web pour évaluer simplement l'autonomie alimentaire et l'excrétion d'azote des troupeaux laitiers : CowNex.

FAVERDIN P. (1, 2), BARATTE C. (1, 2), PERBOST R. (1, 2, 3), THOMAS S. (1, 2, 3), RAMAT E. (3), PEYRAUD J-L (1, 2)

(1) INRA, UMR 1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

(2) Agrocampus Ouest, UMR 1348 PEGASE, 35000 Rennes, France

(3) Univ Lille Nord de France, ULCO, LISIC, BP 719, 62228 CALAIS Cedex

RESUME

L'évaluation de l'efficacité globale de l'azote et de l'excrétion d'azote d'un troupeau laitier est complexe en raison de la grande diversité de gestion de l'alimentation au cours de l'année. CowNex est un nouvel outil (<http://www.cownex-record.inra.fr/>) qui facilite le calcul des consommations d'aliments et de l'utilisation de l'azote dans les troupeaux laitiers selon la conduite d'élevage, avec une attention particulière à la gestion de l'alimentation. Appliqué à différents systèmes laitiers rencontrés en France, CowNex montre une grande diversité de situations et des possibilités d'atténuation pour réduire les émissions de NH₃ et les émissions de N₂O associées à partir du fumier. Réduire la complémentation des régimes à base de maïs d'ensilage est une solution simple et efficace pour réduire fortement les émissions d'ammoniac et de réduire les émissions de GES, sans changer les options de gestion du fumier. Dans de nombreux systèmes, il est y a un avantage à la fois économique et environnemental à gérer au mieux la supplémentation en protéines.

A web tool to simply assess feed autonomy and nitrogen excretion of dairy herds: CowNex.

FAVERDIN P. (1, 2), BARATTE C. (1, 2), PERBOST R. (1, 2, 3), THOMAS S. (1, 2, 3), RAMAT E. (3), PEYRAUD J-L (1, 2)

(1) INRA, UMR 1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

SUMMARY

The assessment of global nitrogen efficiency and nitrogen excretion of dairy herds is complex due to the large diversity of feeding management during the year. CowNex is a new tool (<http://www.cownex-record.inra.fr/>) that facilitates the calculation of dry matter and nitrogen use in dairy herds according to management, with a special attention to feeding management. CowNex, applied to some dairy systems encountered in France, shows a large diversity of situations and significant mitigation options to reduce NH₃ emissions and associated N₂O emissions from manure. The reduction of protein supplementation with maize silage based diets is a simple and efficient solution to highly reduce ammonia emissions and decrease GHG emissions, without changing any manure management options. In many systems, there is both economic and environmental benefit to pay attention to protein supplementation.

INTRODUCTION

La maîtrise de l'autonomie alimentaire et protéique de l'élevage et des rejets azotés est une préoccupation croissante dans l'évolution des systèmes laitiers dans le but d'assurer une meilleure sécurité alimentaire et de réduire les pertes d'azote vers l'environnement. Cependant, il est difficile d'évaluer de façon cohérente un système et les scénarios de changement proposés, car les relations entre les systèmes d'alimentation au cours de l'année et la production à l'échelle d'un troupeau sont complexes. Les conséquences de ces scénarios sur l'ingestion et la production, les flux d'azote associés sont difficiles à apprécier sans mettre en œuvre des modèles relativement compliqués. Les discussions de ces dernières années sur les rejets d'azote par les vaches attestent de ces difficultés.

L'objectif de ce travail était d'évaluer les effets de différentes conduites d'élevage, principalement d'alimentation, sur l'utilisation de l'azote dans les systèmes laitiers au niveau du troupeau et sur toute l'année pour évaluer les impacts sur les émissions. Une application Web spécifique, CowNex, a été développée pour faciliter le calcul. Cet article présente brièvement les principes du modèle CowNex, puis compare les impacts de différentes conduites de systèmes d'alimentation sur les niveaux d'autonomie alimentaire et protéiques (%MS et %protéines ingérées qui sont produites sur l'exploitation), ainsi que sur les excréments d'azote et les émissions gazeuses associées aux effluents.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. LE MODELE COWNEX

Le simulateur CowNex a été développé pour calculer la synthèse des protéines dans le lait et la viande et l'excrétion d'azote dans cheptel laitier, y compris les génisses, en fonction de la gestion du troupeau. Il effectue ces calculs tout au long de l'année et évalue l'impact des changements de conduite, en particulier de l'alimentation, sur l'efficacité de l'utilisation de l'azote par le troupeau et sur l'excrétion d'azote fécal ou urinaire. La quantité d'azote à gérer dans les effluents est considérée séparément des quantités directement restituées au pâturage. Il est accessible gratuitement sur internet via une interface Web Multilingue (Français, Anglais) sans restriction après avoir créé son compte. Il se situe à l'adresse suivante : <http://www.cownex-record.inra.fr/>. La plupart des équations utilisées dans cet outil ont été produites par les développements précédents et ont été publiées précédemment. L'originalité de CowNex réside dans la structure des différents modèles à l'échelle du troupeau avec une interface conviviale et entrées limitées et simplifiées.

CowNex simule le troupeau laitier comme un ensemble de classes d'animaux par lequel les animaux sont de passage le long de l'année. Cette représentation est dérivée d'un modèle d'un troupeau laitier démographie (GEDEMO), qui génère la matrice de structure du troupeau selon les pratiques agricoles (périodes de reproduction, l'âge au premier vêlage, abattage)

(Coquil et al., 2005). L'utilisateur sélectionne un type de matrice adaptée pour la gestion du troupeau qu'il veut simuler et spécifie la date de début de la période de vêlage et le nombre moyen de vaches. Cette définition simplifiée permet une saisie rapide du troupeau.

CowNex calcule journalièrement la consommation d'aliments, la production (de lait et aussi de viande) et l'excrétion par classe d'animaux en fonction de leur régime alimentaire, préalablement défini par l'utilisateur pour plusieurs groupes d'alimentation (veau, génisses, vaches). Consommations et productions sont calculées sur la base du modèle GrazeIn (Faverdin et al, 2011). Le système d'alimentation et les tables d'alimentation INRA 2007 sont utilisés pour les calculs. Dans le cas de la stratégie de gestion des pâturages, l'ingestion est calculée en faisant l'hypothèse d'une stratégie de quantité d'herbe offerte moyenne. CowNex répartit les différentes formes de l'excrétion (féces et urine) entre le pâturage et le stockage des effluents selon le temps passé chaque jour au pré ou en bâtiments, comme indiqué dans le plan d'alimentation fourni. Les quantités d'azote excrétées sont calculées avant toute perte de volatilisation, parce que le modèle est limité stricto sensu au troupeau. Après la simulation de chaque jour de l'année, le logiciel calcule le montant total annuel des consommations et des excréments du troupeau, à la fois pour l'animal individuel moyen de chaque groupe d'alimentation et pour tout le troupeau. Les indicateurs de l'efficacité et de l'autonomie du système pour la MS et l'azote sont calculés pour chaque groupe et pour l'ensemble du troupeau.

En pratique, avant de lancer une simulation, il est d'abord nécessaire de décrire les principales caractéristiques du troupeau, puis de sélectionner les aliments utilisés pour nourrir le troupeau pendant l'année, de préciser les principaux groupes de bovins regroupant plusieurs classes d'animaux nourris avec le même régime cours de l'année, et enfin d'indiquer pour chaque groupe d'alimentation des différents régimes proposés au cours de l'année. Après avoir lancé la simulation, les résultats s'affichent à l'écran mais peuvent être récupérés pour des calculs ultérieurs sous forme d'un fichier csv.

En termes informatiques, CowNex est une application web structurée sur la base du modèle de l'exploitation agricole générique MELODIE (Chardon et al., 2012), réécrit en utilisant la plate-forme RECORD VLE (<http://www6.inra.fr/record>), d'où il tire les dynamiques biotechniques du troupeau laitier. Deux programmes ont été créés pour CowNex : l'un dédié à l'interface utilisateur et l'autre pour assurer la communication des données d'entrées/sorties entre cette interface et le moteur de calcul du modèle MELODIE avec lequel le couplage est simplifié par le formalisme de VLE.

1.2. CALCULS DES EMISSIONS ASSOCIEES AUX REJETS

Pour mieux évaluer l'impact environnemental lié aux effluents jusqu'à l'épandage, les sorties au format csv de CowNex ont été réutilisées sous Excel pour calculer les émissions de gaz directes et indirectes (NH₃ et N₂O) en appliquant les équations produites par l'EMEP / AEE (2010). Ces équations nécessitent cependant des informations supplémentaires sur les différents types de bâtiments d'élevage et les chaînes de gestion des effluents jusqu'à l'épandage, car les émissions de gaz diffèrent selon la gestion des effluents. Pour estimer ces émissions, les données de l'enquête sur les bâtiments d'élevage et sur les systèmes de gestion des effluents (Agreste, 2008) ont été utilisées pour estimer la séparation entre les effluents de type fumier et lisier. De même, les données de la CITEPA (2012) concernant les différentes techniques d'épandage utilisées en France ont été appliquées pour évaluer les émissions de NH₃ et N₂O.

1.3. LES SIMULATIONS DE SYSTEMES

Les systèmes laitiers français couvrent une grande diversité de situations en raison de la diversité géographique, avec des sols et des contextes climatiques très différents, mais aussi le type de systèmes laitiers avec différentes races et des structures d'exploitation très variées. Certains sont des systèmes laitiers spécialisés, mais de nombreux systèmes ne sont pas spécialisés et produisent aussi des cultures et / ou d'autres animaux associés. Pour comparer ces systèmes laitiers différents, les simulations ont été réalisées à partir les données de l'observatoire de la gestion de l'alimentation des systèmes laitiers (IDELE 2011). Dans cet observatoire, 15 grandes catégories typologiques de fermes laitières sont considérées, correspondant aux exploitations laitières spécialisées lait (sans ou avec grandes cultures, polyculture élevage) dans différentes régions (plaines de l'ouest, autres zones de plaine, piémont et montagne) et selon la proportion de la superficie de maïs dans la surface fourragère (<10%, 10%-30%, > 30%). La description détaillée de la gestion de l'alimentation pour chaque classe a été mise en œuvre dans ce travail pour calculer les différents types de concentrés utilisés et représenter un calendrier annuel des rations. Les simulations avec CowNex ont été utilisées pour vérifier que les montants annuels globaux de flux simulés correspondent aux données des réseaux de ferme. Quelques ajustements ont été nécessaires pour trouver un bon accord entre le calendrier de l'alimentation (souvent illustratif) et la quantité annuelle d'aliments consommés (moyennes observées).

Deux principaux types de simulations ont été réalisés. La première série de simulations concernait la comparaison des six principaux systèmes laitiers spécialisés dans les régions de plaine en France. Les données de l'observatoire distinguent séparément les systèmes de la partie Ouest de la France des autres. Les sous-catégories regroupent des exploitations agricoles selon la proportion de leur surface consacrée au maïs dans la production de fourrage. La seconde série de simulations a permis de tester différents scénarios de la supplémentation en protéines pendant la période hivernale dans différents systèmes laitiers de l'observatoire de l'alimentation, avec une utilisation significative de compléments protéiques (très liée à l'utilisation d'ensilage de maïs), soit 9 des 15 systèmes décrits par l'observatoire. Le calendrier fourrager de la situation de référence a été conservé, mais les rations hivernales ont été calculées pour faire varier les apports de tourteaux de soja tout en gardant un niveau minimum de 100 PDIE/UFL en utilisant des protéines moins dégradables (tourteaux tannés) si nécessaire et en réduisant de ce fait les apports PDIN. Pour chaque système, des rations à 14, 15 et 16% de MAT ont ainsi été générées dans la phase hivernale.

2. RESULTATS

2.1. COMPARAISON DE 6 GRANDS SYSTEMES LAITIERS SPECIALISES

Les données de l'observatoire indiquent que les systèmes laitiers de la partie Ouest de la France utilisent généralement moins de concentrés, notamment protéiques, ont une meilleure autonomie alimentaire et protéique et une production de lait par vache légèrement plus faible que dans les autres régions (tableau 1). Les simulations issues de cette comparaison montrent clairement que la réduction de concentré et de suppléments de protéines dans l'alimentation à base d'ensilage de maïs (systèmes 2 de l'Ouest par rapport aux systèmes 1 ailleurs) a seulement un petit impact sur le rendement annuel de lait (-350 kg de lait), mais réduit considérablement l'excrétion azotée (-14%), les émissions de NH₃ (-56%) et les émissions de N₂O (-54%) et améliore l'efficacité d'utilisation de l'N (+2 points). La réduction des émissions de NH₃ et de N₂O est principalement due à une plus faible proportion d'azote ammoniacal des lisiers et moins de temps passé à l'intérieur. Il est intéressant de noter que

les différences dans les émissions de NH₃ par kg de lait ne reflètent pas les différences d'N excrété par kg de lait, les systèmes herbagers étant plus efficaces pour contrôler le NH₃, alors qu'ils sont comparables aux autres sur l'excrétion d'azote par kg de lait.

Les systèmes laitiers utilisant de grandes quantités d'ensilage de maïs produisent plus de lait que les autres, mais ne sont pas toujours plus efficaces pour utiliser l'azote. Selon

l'utilisation du supplément de protéines dans le régime alimentaire hivernal, ces systèmes pourraient conduire à de très grandes différences en termes d'émissions de NH₃ et N₂O, mais aussi à de grandes variations en termes d'excrétion et d'efficacité de l'azote. Une bonne complémentation protéique dans les régimes à base d'ensilage de maïs semble une voie prometteuse pour réduire les émissions de NH₃ dans les troupeaux laitiers.

Tableau 1 : Comparaison de 6 types de systèmes laitiers du grand Ouest et d'autres régions de la France en fonction de leur système d'alimentation (Maïs = Maïs >30% SFP, Maïs-Herbe = Maïs de 10-30% SFP, Herbe = Maïs<10% SFP)

Référence des types de fermes	Plaine Ouest			Autres régions de plaine		
	Maïs 2	Maïs - Herbe 4	Herbe 6	Maïs 1	Maïs - Herbe 3	Herbe 5
Production and Ingestion						
lait (kg/vache/an)	7827	6786	5608	8169	7500	6334
Total MS ingérée (kg MS/vache/an)	6791	6327	5732	7047	6756	6108
Total N ingéré (kg N/vache/an)	165	163	142	187	181	152
MAT moyenne du régime (g/kg DM)	152	161	155	166	168	156
Autonomie alimentaire (% MS)	87%	88%	94%	76%	82%	89%
Autonomie protéique	67%	73%	79%	49%	57%	78%
N partition						
N Lait (kg/vache/an)	42.3	37.8	30.4	44.2	40.6	32.5
N Fèces (kg/vache/an)	59.5	56.3	52.0	61.8	62.0	54.2
N Urine (kg/vache/an)	62.5	68.7	57.8	80.2	78.7	64.9
N Efficience	25.7%	23.1%	21.4%	23.6%	22.4%	21.4%
% N excrété en bâtiments	58%	56%	47%	69%	63%	48%
Total N excrété (kg/vache/an)	122	125	110	142	141	119
Total N Ammoniacal (% N excrété)	51%	55%	53%	56%	56%	55%
N urine/ N lait	1.5	1.8	1.9	1.8	1.9	2.0
N émissions						
N-NH ₃ (kg/vache/an)	17.55	23.32	9.63	39.79	29.94	11.66
N ₂ O (direct + indirect) eqCO ₂ (kg/vache/an)	773	943	495	1423	1130	557
NH ₃ /lait (g/kg lait)	2.2	3.4	1.7	4.9	4.0	1.8

2.2 EFFETS DE DIFFERENTES COMPLEMENTATIONS PROTEIQUES DANS LES SYSTEMES LAITIERS

Les impacts des changements de teneur en protéines des rations hivernales sont très semblables au sein de chaque système (figure 1), mais ne reflètent pas toujours les relations observées entre les systèmes. Le fait d'augmenter de 1pt de MAT la ration hivernale représente en moyenne 126 kg de MS de tourteaux de soja en plus par vache et par an, avec des extrêmes allant de 90 à 180 kg de MS suivant la durée de la ration maïs. L'autonomie protéique varie suivant les systèmes d'alimentation, mais décroît de 2.4 points pour 100 kg de MS de tourteaux de soja supplémentaire par vache et par an, quel que soit le système. L'efficacité d'utilisation de l'azote varie décroît de 0.68 pt et l'azote excrété augmente de 5.6 kg pour 100 kg de tourteaux de soja supplémentaires par vache et par an. Si l'efficacité d'utilisation de l'azote s'accroît avec l'apport de tourteaux intra-système, cette relation n'est pas vérifiée entre systèmes.

En conséquence de l'augmentation de l'excrétion d'azote urinaire avec la teneur en MAT des régimes, les émissions d'ammoniac annuelles augmentent de 2,9 kg de N par vache pour 100 kg de MS de tourteaux de soja supplémentaire par vache et par an, soit 3,5 kg d'ammoniac (figure 1). Ces émissions sont cependant plus élevées pour les systèmes 12, 13 et 15 pour lesquels le temps passé à l'intérieur est beaucoup plus long que pour les autres systèmes. Les émissions d'ammoniac diminuent au sein d'un système lorsque l'efficacité d'utilisation de l'azote augmente, mais cette relation n'est pas toujours vérifiée entre systèmes, le temps passé à l'intérieur étant un facteur important pour

expliquer les émissions de NH₃. Les émissions de GES augmentent de 70,5 kg d'équivalent CO₂ pour 100 kg MS de tourteaux de soja supplémentaires par vache et par an en raison d'une augmentation des émissions directes et indirectes de N₂O.

3. DISCUSSION

Ces simulations montrent une grande diversité de situation dans les systèmes laitiers. Si les méthodes de calcul des rejets azotés semblent montrer des rejets plus importants en systèmes herbagers, cette conclusion est à relativiser avec les pratiques de complémentation hivernales dans les systèmes basés sur l'ensilage de maïs. Si une complémentation protéique rigoureuse permet d'obtenir des compromis intéressants pour l'environnement, la production et l'économie de l'exploitation, des pratiques moins économes en protéines conduisent à des rejets azotés importants et à de fortes émissions d'ammoniac, supérieures à celles des systèmes herbagers. On peut regretter que les méthodes forfaitaires de calcul des rejets azotés ne permettent pas actuellement de distinguer des pratiques vertueuses de complémentations protéiques des autres. Les données observées de concentration en urée des laits, indicatrices des pratiques de complémentation azotée, montrent une grande diversité et des marges de progrès sont donc possibles. Des outils comme CowNex doivent permettre d'analyser simplement la situation spécifique d'un élevage et d'étudier comment progresser en analysant les sorties des simulations.

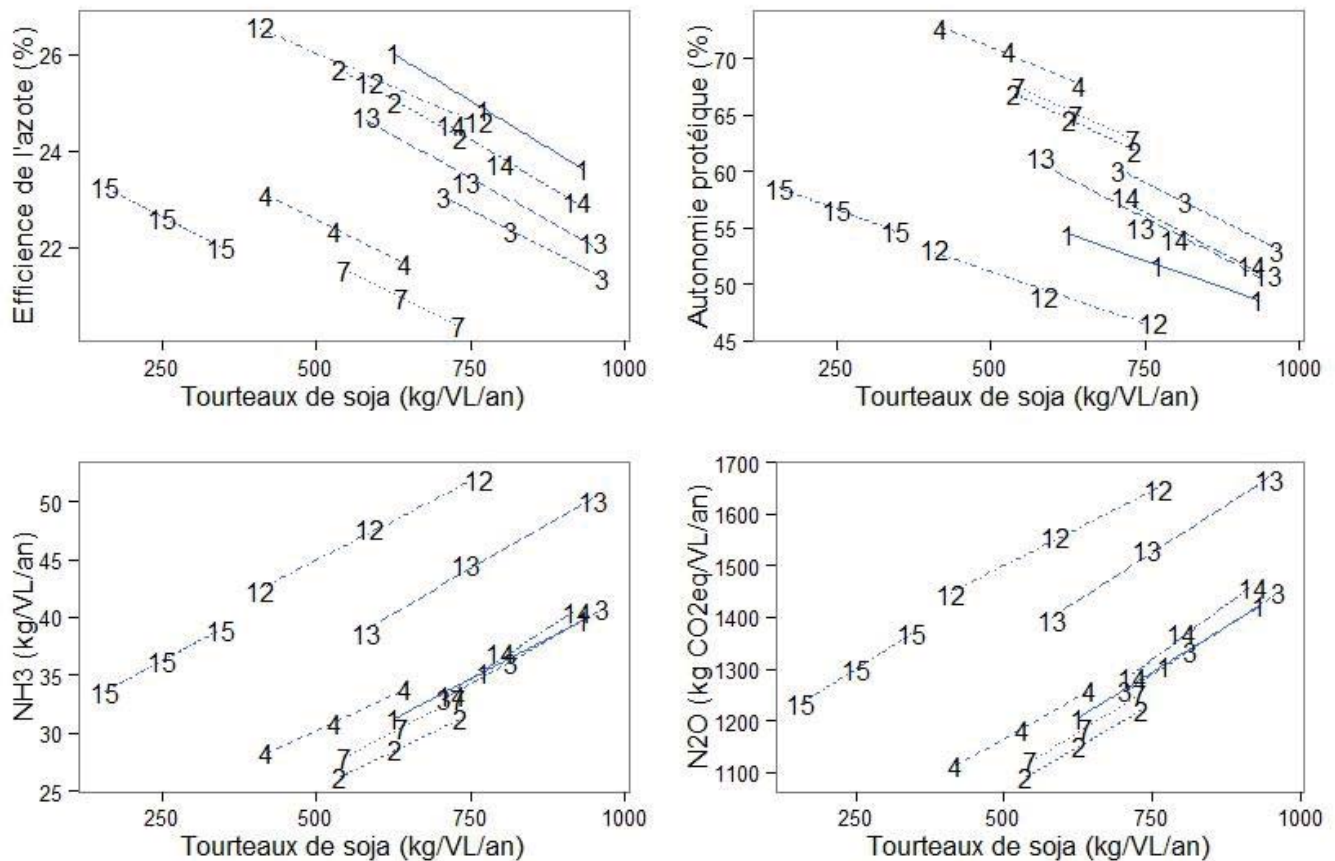


Figure 1 : Influence de la supplémentation en protéines dans l'alimentation (kg de tourteaux de soja par vache (VL) et par an) sur l'efficience de l'azote, l'autonomie protéique, les émissions de NH₃ et N₂O (directes + indirectes) dans différents systèmes laitiers. Les simulations ont été réalisées en utilisant la description de l'alimentation de différents exploitations-types, avec une substitution du tourteau de soja (ou concentré protéique) par des céréales dans le régime d'hiver pour créer des rations hivernales à 14%, 15% et 16% de MAT (quantités croissante de tourteaux). Les différents numéros des points des graphiques correspondent au numéro de chaque modèle de ferme laitière de l'observatoire de l'alimentation des vaches laitières (spécialisés : plaine ouest, Maïs <30% (2) 10-30% (4), plaine autres régions Maïs <30% (1) 10-30% (3), montagne et piémont avec maïs (7) ; Spécialisé de plaine avec grandes cultures Maïs > 30% (12), Spécialisé et polyculture-élevage Maïs >30% (13), 10-30% (14), <10% (15).

CONCLUSION

L'évaluation de l'efficacité de l'azote au niveau du troupeau est plus complexe que l'estimation de l'efficacité à l'échelle de l'animal-jour, en raison de la grande diversité de gestion de l'alimentation au cours de l'année. CowNex est donc un outil simple permettant d'évaluer rapidement des scénarios de changements de systèmes en maintenant une cohérence entre pratiques et production grâce aux modèles mécanistes sous-jacents. Combiné avec d'autres outils pour calculer les émissions de NH₃ et N₂O associées aux pertes d'azote et à la gestion des effluents, il offre des possibilités intéressantes pour évaluer les options d'atténuation. Appliqué à certains systèmes laitiers français, CowNex montre une grande diversité de situations et des options d'atténuation importantes pour réduire les émissions de NH₃ et les émissions de N₂O. Il montre que l'excrétion des vaches laitières peut différer significativement des 9 valeurs standards de l'arrêté du 11/12/2011 en fonction de l'alimentation en concentrés protéiques, mais ce facteur n'est pas pris en compte actuellement. La réduction de la supplémentation en protéines à 14% dans le cas des régimes à base d'ensilage de maïs est une solution simple et efficace pour réduire fortement les émissions d'ammoniac, sans modifier les options de gestion des effluents. Dans de nombreux systèmes, il est intéressant à la fois sur un plan économique et environnemental, de prêter attention à la supplémentation en protéines.

CowNex est un outil conçu pour étudier la gestion de l'alimentation et de ses conséquences au niveau du

troupeau. Il pourrait être facilement complété par des outils d'évaluation environnementale sur les émissions gazeuses. Ses conclusions ne peuvent cependant pas s'adresser directement à des niveaux supérieurs d'organisation comme la ferme ou de la région (Chatellier et Vérité, 2003).

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet européen RedNex, UE FP7 KBB-2007-1.

Agreste 2008. <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/productions-animales-625/batiments-d-elevage-bovin/>

Chardon X., Rigolot C., Baratte C., Espagnol S., Raison C., Martin-Clouaire R., Rellier J.-P., Le Gall A., Dourmad J.Y., Piquemal B., Leterme P., Paillat J.M., Delaby L., Garcia F., Peyraud J.L., Poupa J.C., Morvan T., Faverdin P. 2012. *Animal*, 6, 1711-1721.

Chatellier, V.; Vérité, R. 2003. *INRA Productions Animales*, 16 (4): 231-249.

CITEPA 2012. Rapport National d'inventaire pour la France au titre de la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et du protocole de Kyoto. 1364pp.

Coquil X., Faverdin P., Garcia F. 2005. *Renc. Rech. Ruminants*, 12, 213-214.

EMEP / AEE 2010. Emission inventory guidebook 2009, updated June 2010. 4.B Animal husbandry and manure management. 73 pp.

Faverdin P., Baratte C., Delagarde R., Peyraud J.L. 2011. *Grass and Forage Science*, 66, 29-44.

Institut de l'Élevage 2011. Observatoire de l'alimentation des vaches laitières, données 2007.