

Evaluation environnementale du traitement des lisiers et des fumiers et composition des sous-produits

Philippe DUPARD, Fabrice BELINE, Thierry BIOTEAU, Laurence LOYON

IRSTEA Unité GERE, 17 Avenue de Cucillé, CS 64427, 35044, Rennes cedex, France

philippe.dupard@irstea.fr

Evaluation environnementale du traitement des lisiers et des fumiers et composition des sous-produits.

Les techniques disponibles pour réduire l'impact environnemental des déjections animales sont encore trop peu utilisées : les raisons en sont un coût perçu comme élevé, une confusion dans les avantages engendrés et un manque de démonstration des impacts techniques. Par ailleurs, comme l'épandage est la destination ultime des déjections, la composition des produits finaux après traitement doit respecter des besoins agronomiques. Les ratios N / P / K en sont des paramètres clés et il faut considérer tout autant les teneurs en matière sèche, en matière organique, le quotient C/N, ou le cuivre et le zinc. A partir des différents types de lisiers ou fumiers obtenus en sortie bâtiment, l'outil de calcul évalue la composition des produits finaux et les émissions gazeuses au cours d'un procédé de traitement complet. Quatre traitements majeurs qui sont la nitrification/dénitrification aérobie, la digestion anaérobique, la séparation de phase mécanique et le compostage, peuvent être associés ou comparés avec un stockage et/ou une décantation gravitaire. L'étude présente 7 cas de traitements combinant les principales filières et montre les écarts de performances. Elle pointe également que certains avantages attendus entraînent la dégradation de certains autres paramètres. C'est pourquoi une telle méthode d'évaluation devient indispensable dans le choix de traitements appropriés.

A calculation tool for the evaluation of gas emissions and composition of manure through various treatment processes

Available treatments to reduce the negative environmental impacts from animal manures are still rarely used in practice: amongst the reasons are a perceived high cost, a confusion of the benefits and a lack of demonstration on technical impacts. On the other hand, as land spreading is the prior destination of manure, composition of the end products after treatment has to respect the agronomic needs. Therefore, N / P / K contents are key parameters as well as dry matter and organic matter contents, C/N ratio, or copper and zinc concentrations. Considering different types of manure, the proposed calculation tool assesses the output product composition and gas emissions through a complete treatment process. Four major treatments that are aerobic nitrification/denitrification, anaerobic digestion, mechanical phase separation and composting, can be associated or compared with storage and/or gravity settling. The study includes 7 case studies combining major treatment processes and shows deviations of performances. It also points out that some expected benefits can lead to the degradation of some other parameters. So, it appears that such an approach is essential in the decision-making process for choosing the appropriate treatment.

INTRODUCTION

Plusieurs réglementations européennes imposent des contraintes aux éleveurs pour les émissions atmosphériques gazeuses et la pollution des eaux par les nitrates. Les directives Nitrates (91/676/EEC) et IPPC (récemment remplacée par la directive 2010/75/EEC) imposent la mise en place de techniques ou de programmes qui visent à réduire les rejets d'azote par les élevages. Le Protocole de Göteborg et les recommandations du GIEC requièrent de maîtriser les émissions d'ammoniac (NH₃) et de gaz à effet de serre en particulier le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). La plupart des techniques contribuant à ces bonnes pratiques sont décrites dans le guide BREF - Elevage Intensif de volailles et de porcins (Commission européenne – 2003) ou bien dans le Guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Elevage (RMT – 2010).

Cependant, la mise en œuvre pratique de ces meilleures techniques disponibles peut amener à combiner plusieurs d'entre elles avec, parfois, des résultats antagonistes sur les compositions des effluents.

L'éleveur confronté au choix des techniques à appliquer doit évaluer les effets environnementaux mais aussi les compositions des produits générés afin de déterminer leur utilisation possible.

L'objet de cet article est de décrire un outil de simulation de scénarios complexes, mettant en œuvre des techniques de traitement des effluents d'élevage et de montrer son intérêt dans le processus de choix.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Description générale du modèle

En s'appuyant sur les résultats scientifiques relatifs aux performances des différents traitements retenus, relevés dans la bibliographie, on simule, à partir des effluents obtenus en sortie de bâtiment, les différentes phases d'une chaîne de traitement pour aboutir à la composition des produits finaux destinés à l'épandage. Cette démarche permet de conserver la cohérence entre les séquences successives des procédés.

L'outil permet ainsi de comparer les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre, ainsi que les qualités agronomiques des produits après traitement.

Le principe général de fonctionnement est décrit par la figure 1.

L'outil de calcul permet l'ajout d'un coproduit optionnel pour le cas de la digestion anaérobie. Les effluents en sortie peuvent avoir trois formes : liquide pour les lisiers traités ou le surnageant, solide pour les fumiers ou les refus de séparation, et boues récoltées après décantation gravitaire.

Les paramètres suivants sont évalués : teneurs en matière sèche (MS) et en matière organique (MO), azote total (Tot N), azote ammoniacal (N-NH₄), phosphore (P), potassium (K), cuivre (CU), zinc (Zn), rapport C/N (C/N) et potentiel méthanogène (Bo). Les quantités d'effluents (TM - Total Matière) peuvent être mensuelles ou annuelles.

Le modèle prend en compte les paramètres climatiques de la région considérée.

Chaque module de calcul a fait l'objet d'une étude bibliographique complète, mais ne sont reprises dans ce document que les références choisies pour fixer les paramètres du modèle et les règles de construction.

1.2. Produits en entrée

Les compositions par défaut du lisier ou du fumier en entrée s'appuient sur les valeurs de la base de données Méthasim de Levasseur *et al.* (2011) qui collectionne les informations bibliographiques de plus de 200 substrats d'origine agricole. Les effluents pris en compte sont les lisiers de porcs et de vaches, les fumiers bovins et les fumiers de volailles. Le modèle intègre aussi les caractéristiques de quelques coproduits optionnels parmi une sélection limitée.

1.3. Pré-Séparation et Post-Séparation

Ces modules décrivent les effets d'une séparation de phase mécanique pour un effluent liquide. Deux types de séparateurs peuvent être utilisés : vis compacteuse ou décanteuse centrifuge. Ils permettent l'obtention d'une fraction solide et d'une fraction liquide.

Le modèle s'appuie sur les travaux de Loyon *et al.* (2007) pour

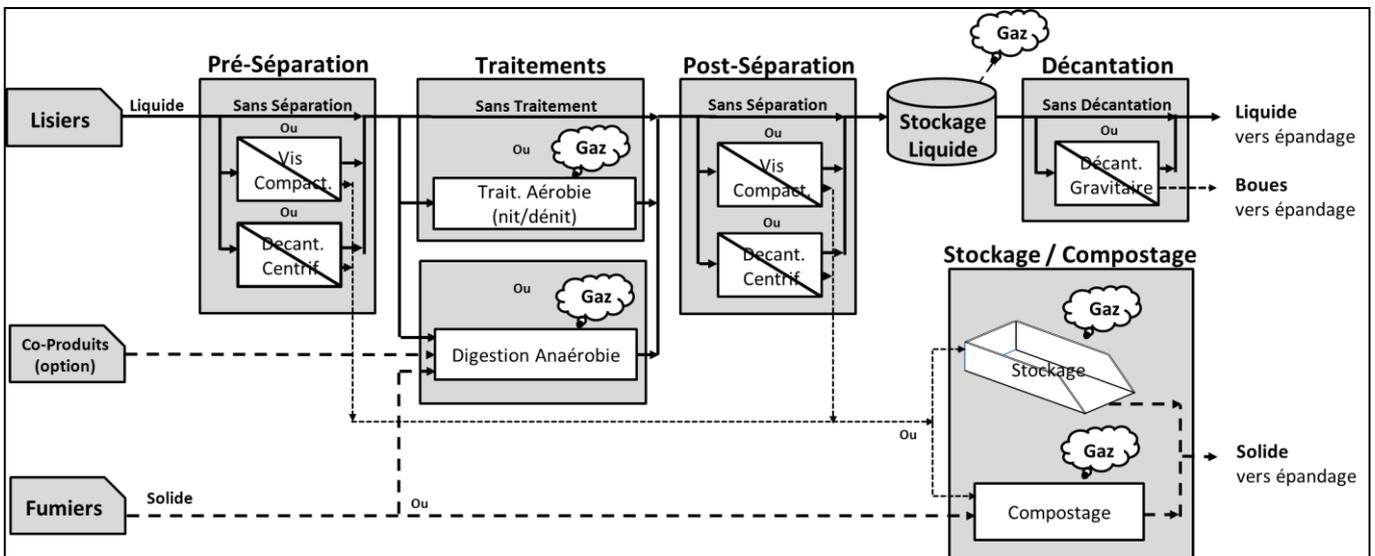


Figure 1 – Synoptique des traitements des effluents

les coefficients de séparation de chaque composé. Les paramètres clés de ces procédés sont les teneurs en matière sèche de la fraction solide fixées à 36% et 32% respectivement pour chacun des deux séparateurs et les quantités de matière sèche captée fixées à 40% et 65%. Les autres paramètres y sont liés linéairement à partir d'une situation de référence. Le phosphore est capté dans le refus de séparation pour respectivement 23% et 80%. Le potassium largement dissous suit la séparation de la fraction liquide. Dans ce module, aucune perte de matière n'est considérée.

1.4. Digestion anaérobie

Un digesteur permet le traitement d'effluents liquides avec l'adjonction de fumier ou d'un coproduit. La limite autorisée de matière sèche en entrée est de 15%.

Le procédé est supposé optimisé pour une production mésophile ou thermophile de méthane fixée à 70% du potentiel méthanogène du substrat. Cette valeur est issue d'une moyenne effectuée entre différentes références (Béline, 2008, Girault, 2011 et Sloboda, 2003). Le dioxyde de carbone est produit dans une proportion 40%/60% par rapport au méthane comme indiqué par Vedrenne (2007).

Le digestat obtenu tient compte des pertes carbonées, mais aussi de la transformation d'une partie de l'azote organique en azote minéral.

Les émissions gazeuses atmosphériques sont constituées par les fuites directes, évaluées à 1,8% selon Olesen *et al.*, 2004 et par la combustion plus ou moins partielle du biogaz lors de son utilisation. Dans le cas où le biogaz est exporté, ses émissions potentielles ne sont plus comptabilisées.

1.5. Traitement Aérobie Nitrification/Dénitrification

Ce traitement en bassin ouvert permet par aération du lisier d'éliminer la plus grande partie de l'azote ammoniacal. Les deux paramètres clés du procédé sont la réduction de 95 % de l'azote ammoniacal initial et la réduction de 10 % de l'azote organique en concordance avec les résultats de l'étude Loyon *et al.* (2007). Les facteurs d'émission des autres gaz sont issus des mêmes travaux avec le traitement de type « fines bulles ».

Les gaz issus de la nitrification puis de la dénitrification sont essentiellement de l'azote (N₂), mais on tient aussi compte des émissions résiduelles de protoxyde d'azote, de méthane et de dioxyde de carbone. Le bilan matière prend en compte les pluies et l'évaporation selon les dimensions du bassin et la durée de traitement qui est fixée à 40 jours.

1.6. Stockage du liquide

Le lisier ou le liquide issu des traitements précédents est stocké dans un bassin. Par défaut, il est considéré comme non couvert, la durée moyenne de stockage est fixée à 40 jours, ou à 100 jours dans le cas d'une lagune. Les dimensions du stockage sont évaluées par défaut en considérant une profondeur standard de 6 mètres pour les fosses et de 2 mètres pour les lagunes. Ces valeurs retenues pour cette étude sont représentatives des réalisations en Bretagne et des documentations commerciales, et ne doivent pas être confondues avec les valeurs maximales définies par la réglementation.

Les émissions ammoniacales sont basées sur l'application du modèle décrit par Rigolot *et al.* (2010). Les émissions de méthanes et de protoxyde d'azote suivent les valeurs du GIEC-

IPCC (2006). L'effet d'un croulage naturel est pris en compte. Selon les mesures des études Loyon *et al.* (2007) et Vedrenne, (2007), les émissions d'ammoniac sont réduites dans le cas où les effluents ont subi des traitements préalables.

Il est considéré que le bassin est non brassé pendant la durée du stockage.

1.7. Décantation Gravitaire

Ce module s'applique aux lisiers ou aux produits issus de traitement qui passent par un bassin de décantation ou qui sont retirés du stockage sans un brassage préalable. On considère que les émissions gazeuses sont déjà comptabilisées dans le module stockage, et on évalue alors la séparation des matières entre le surnageant et les boues.

Le paramètre clé est la proportion de liquide surnageant retirée. La situation de référence est celle mesurée dans l'étude Loyon *et al.* (2007) : le surnageant y représente 67% de la quantité de produit et ne contient alors que 20% de la matière sèche, 57% de l'azote ammoniacal et 30% du phosphore. Si la proportion de surnageant ou de boues varie, les autres paramètres sont ajustés en proportion.

1.8. Compostage / Stockage solide

Les cas de compostage et de stockage sont évalués à l'aide du modèle de Rigolot *et al.* (2010). Ils s'appliquent aux fumiers bruts, mais aussi aux refus de séparation. Les paramètres clés pris en compte sont la durée (< 2 ou > 2 mois), le nombre de retournements (de 0 à 2). Le rapport C/N du produit et la température proviennent du calcul. Selon Rigolot *et al.* (2010), les facteurs d'émission appliqués sont volontairement grossiers à cause de la disparité des comportements et des situations lors du stockage de solide.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'outil permet la simulation de 26 procédés de traitement complets. Quelques études de cas permettent d'en étudier la pertinence.

On compare chacun des procédés à la situation de référence qui est un stockage simple. Dans chacun des cas présentés ci-après, les conditions climatiques régionales moyennes de la Bretagne sont appliquées : température 11,4 °C, pluie 52 mm/mois, vent 3,54 m/s, HR 80,6% selon les normales climatiques de Météo France, (1996).

2.1. Traitement Aérobie

Pour une quantité de 285 tonnes de lisier de porc, sur une durée mensuelle, on calcule les situations suivantes :

- Cas 1 : Stockage en bassin, sans croulage naturel, durée 40 jours. On obtient un produit liquide proche du lisier.
- Cas 2 : Traitement aérobie simple puis stockage de 40 jours. On obtient un produit liquide aéré.
- Cas 3 : Pré-séparation, puis traitement aérobie et stockage du liquide pendant 40 jours et du refus de séparation sans retournement et moins de 2 mois. On obtient un liquide dénitrifié et un solide.

Sur la figure 2, les quantités de produits (TM) sont normalisées à 10 pour améliorer la lisibilité. De même, on représente les ratios 10 N-NH₄ / Tot N et 10 P / N. Les valeurs résultats sont reportées dans le tableau 1.

On peut noter qu'on obtient une quantité de 9,8 t de refus solide après stockage caractérisé par une teneur en matière sèche de 38%, un taux C/N de 16,5, mais un rapport P/N égal à 1,0. Pour la fraction liquide, la quantité est de 278 t, la réduction de l'azote à 1,04 g N/kg entraîne un déséquilibre du rapport C/N qui passe d'une valeur de 3,7 pour le stockage simple à 9,1 pour le traitement. La teneur en potassium reste stable selon les procédés appliqués.

En ce qui concerne les émissions gazeuses ammoniacales, pour le stockage simple (Cas 1), elles représentent 18,5 kg N-NH₃, soit 1,6% du total N initial, ce qui concorde avec les valeurs attendues en fonction des conditions d'environnement et de durée utilisées. Avec un traitement aérobie simple (Cas 2), ces émissions d'ammoniac tombent à 0,9 kg N-NH₃, mais elles sont à nouveau plus importantes dans le cas d'une pré-séparation initiale (Cas 3), 17,7 kg N-NH₃, en raison des émissions de la fraction solide. Sur la figure 2, les émissions de gaz à effet de serre sont représentées en kg équivalent CO₂ pour les cas 1 et cas 3. Les émissions de méthane, de protoxyde d'azote et de dioxyde de carbone sont de 336 / 0 / 616 kg pour le stockage simple, 34 / 11 / 718 kg pour le traitement aérobie simple et de 21 / 11 / 2618 kg pour le traitement + pré-séparation respectivement. L'importance du gaz carbonique dans le dernier cas est due au stockage de la fraction solide. On met aussi en évidence que le bénéfice est important sur les émissions de méthane, et que celles du protoxyde d'azote deviennent prépondérantes.

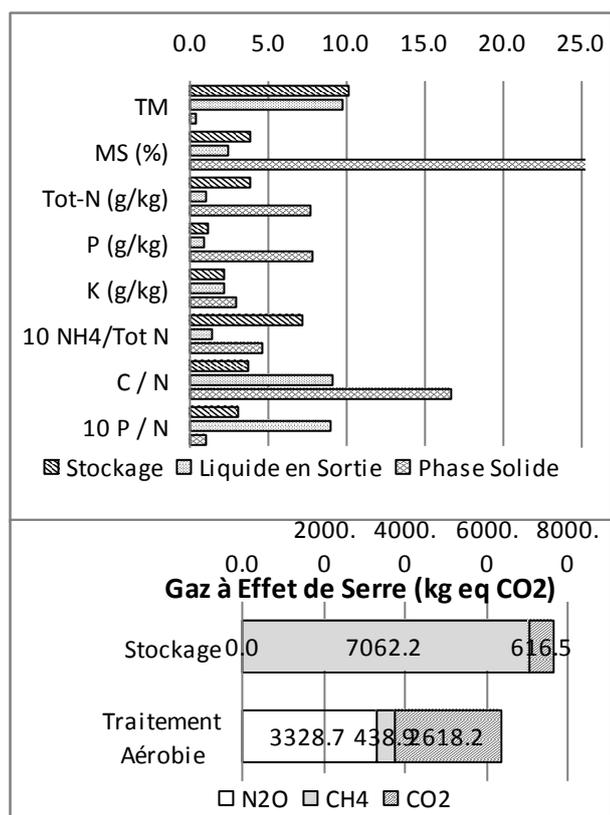


Figure 2 – Comparaison des compositions et des émissions pour un traitement aérobie avec pré-séparation (Cas 1 et Cas 3).

La comparaison des différentes situations montre que les caractéristiques agronomiques des produits de sortie et les émissions gazeuses peuvent être modulées en fonctions des objectifs de l'exploitation.

2.2. Digestion Anaérobie avec Coproduits

Dans un cas concret de traitement, l'optimisation du procédé conduit l'exploitant à maximiser la production de méthane. La transformation des lisiers en digestat est donc davantage une conséquence qu'une fin en soi du procédé et l'ajout de coproduits est quasi systématique.

Cet exemple compare les effets d'une digestion anaérobie pour une quantité de 285 tonnes de lisier seul ou avec un coproduit. On a trois cas ;

- Un stockage pendant 40 jours du lisier de porc (Cas 1 : situation de référence).

- Cas 4 : Digestion du lisier seul. Tout le biogaz est exporté pour ne comparer que les effets des procédés. Le digestat est ensuite stocké pendant 40 jours. On obtient un produit liquide.

- Cas 5 : Digestion du lisier avec ajout de 30 tonnes de déchets de fruits et végétaux. Le biogaz est exporté. Le digestat est ensuite stocké pendant 40 jours. On obtient un produit liquide.

- Cas 6 : Digestion du lisier avec ajout de 30 tonnes de fumier de vache laitière. Le biogaz est exporté. Le digestat est ensuite stocké pendant 40 jours. On obtient un produit liquide. Les résultats sont reportés dans le Tableau 1.

Dans la mesure où la répartition des différents teneurs du coproduit est semblable à celle du lisier d'origine, les écarts sont réduits. Cependant, on peut remarquer que la concentration en azote total du cas 5 augmente de +4,8% par rapport au cas 4 et de +5,5% par rapport au cas de référence, et qu'en outre les quantités de digestat à épandre sont augmentées de +9,9% et +9,0% respectivement ; les quantités d'azote à épandre se trouvent ainsi augmentées de 15%, ce qui a des conséquences, dans cet exemple, sur un plan d'épandage. Dans le cas 6, avec l'ajout de fumier de vache laitière, la quantité d'azote à épandre est augmentée de 16,5%.

Les émissions de gaz à effet de serre étant principalement liées aux fuites de l'installation, il n'est pas possible de vraiment statuer sur un éventuel bénéfice direct. La valeur de 1,8% de fuite de biogaz peut varier de 0% à 10% selon le GIEC-IPCC (2006) et pourrait théoriquement être ramenée à zéro. Pour les émissions d'ammoniac, ce procédé reste équivalent à la situation de référence les émissions étant issues du bassin de stockage du digestat.

2.3. Digestion Anaérobie avec Post-Séparation

On évalue ici l'intérêt d'un post traitement du digestat de méthanisation.

- Cas 5 : idem paragraphe 2.2

- Cas 7 : le même procédé que le cas 5, mais le digestat subit une séparation de phases par décantation centrifuge, puis les fractions liquide et solide sont stockées respectivement 40 jours et <2 mois.

On obtient donc après stockage final pour le cas 7, un produit liquide en quantité très voisine du cas 1 stockage simple sans traitement, 291 t contre 290 t. On obtient aussi un composé solide en quantité de 14,1 t.

Le produit liquide a une teneur en matière sèche de 1,4% et sa teneur en azote reste élevée à 3,0 g/kg car il n'a pas été capté par la décantation centrifuge. Cela est vrai également pour le potassium dont la teneur reste à 2,0 g/kg. Néanmoins, les rapports C/N, à 1,6, et la teneur en phosphore, à 0,2 g/kg, sont fortement réduits par rapport au cas 5.

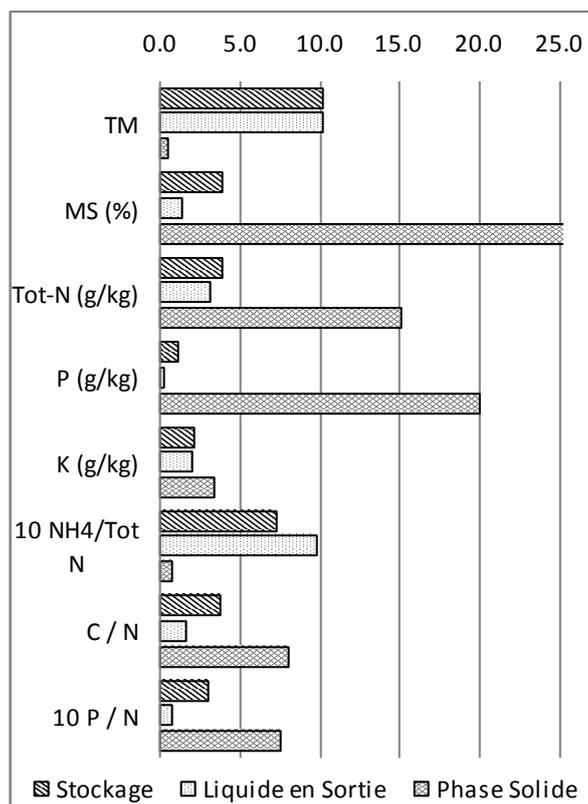


Figure 3 – Comparaison des compositions Cas 1 (Stockage et Cas 7 (Liquide en sortie et Phase solide))

En revanche, le produit solide obtenu a une forte concentration en matière sèche, 41,4% et présente aussi de fortes teneurs en azote, 15,1 g/kg, en phosphore, 20 g/kg, un

rapport C/N proche de 10 et la teneur en potassium est de 3,5 g/kg. L'azote ammoniacal y est par contre fortement réduit, 1,1 g/kg ce qui peut présenter un avantage ou un inconvénient selon la destination du produit.

On notera aussi que par l'effet des concentrations de matière sèche, les teneurs en cuivre et en zinc ont significativement augmenté.

CONCLUSION

L'outil développé permet la simulation de nombreuses situations de traitement d'effluents d'élevage. Il permet de dégager des conclusions assez fortes quant au choix des traitements appropriés. Il fournit la composition des produits en sortie qui permettra d'étudier les mêmes aspects au niveau de leur utilisation (épandage ou export par exemple).

L'outil ne statue pas sur les aspects négatifs ou positifs d'un procédé car ce jugement appartient à l'utilisateur en fonction de ses objectifs particuliers.

Mais, la construction reposant sur la mise en œuvre de quelques situations documentées de manière bibliographique, son extension à des cas généraux doit être prise avec prudence. Néanmoins, la comparaison de deux processus entre eux garde tout son sens.

Cette étude a été menée dans le cadre du projet Européen Interreg Atlantic Area BATFARM, dans lequel une approche similaire est effectuée pour les autres parties d'un élevage : Bâtiments, Bilan Animaux, Stockages et Epandages. Ces différents modules sont destinés à être intégrés dans un logiciel unique à destination des techniciens, des chercheurs et des éleveurs.

Tableau 1 - Composition des effluents avant et après traitement et émissions gazeuses

	Unités	Lisier	Coprod.	Fumier	Cas 1	Cas 2	Cas 3		Cas 4	Cas 5	Cas 6	Cas 7	
		Porcs	Frt&Vég.	V L	Stock.	T. Aér	T. Aér + PrSép	solide	DA	DA+	DA	liquide	solide
Compositions		liquide	solide	solide	liquide	liquide	liquide	liquide	liquide	liquide	liquide	liquide	liquide
Quantité TM	t	285	30	30	290	292	278	9,8	287	316	316	291,2	14,1
MS%	%	4,2	13,8	20,0	3,9	4,0	2,5	38	3,2	3,7	4,6	1,4	41,4
MO	%	3,0	12,0	16,2	2,7	2,8	1,8	24	2,0	2,4	3,2	0,9	23,1
Tot N	g/kg	4,0	5,75	6,24	3,9	1,2	1,0	7,7	3,9	4,1	4,1	3,1	15,1
N-NH ⁴⁺	g/kg	2,8	0	0,6	2,8	0,1	0,1	3,5	2,1	3,1	2,9	3,0	1,1
C/N		4,1	10,5	20	3,7	12,7	9,1	16,6	2,8	3,2	4,8	1,6	8,1
P	g/kg	1,2	0,47	1,2	1,2	1,2	0,9	7,8	1,2	1,1	1,2	0,2	20
K	g/kg	2,2	n.a.	7,2	2,2	2,1	2,1	3,0	2,2	2,0	2,7	2,0	3,5
Cu	mg/kg	40	n.a.	10	39	39	38	93	40	36	36	26	263
Zn	mg/kg	65	n.a.	25	64	64	60	198	65	59	59	32	652
Bo (CH ₄)	m ³ /kg OM	0,290	0,390	0,204	0,258	0,274	0,274	n.a.	0,115	0,137	0,093	0,137	0,148
Emissions													
NH ₃	kg				22,4	1,1	21,5		25,3	27,5	26,3		188,5
CH ₄	kg				336,3	33,7	20,9		72,7	114,0	101,8		64,1
N ₂ O	kg				0	11,2	10,7		0	0	0		5,5
CO ₂	kg				616,5	718,8	2618,2		123,6	198,5	174,4		3712,1

Notas : les teneurs sont données en fonction de la matière totale TM.

n.a. : données non disponibles

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BATFARM Project, <http://www.batfarm.eu>
- Béline F., 2008. Rapport ANR DigestAéro. Couplage de la Digestion anaérobie et d'un procédé aérobie pour le traitement des déjections animales 2008 Cemagref, ANR.
- Commission Européenne, 2003. Document de Référence sur les Meilleures Techniques Disponibles. Elevage Intensif de volailles et de Porcins.
- Olesen J.E., Weiske A., Asman W.A., Weisbjerg M.R., Djurhuus J., Schelde K, 2004. Farm GHG, A model for estimating greenhouse gas emissions from livestock farms. Danish Institute of Agricultural Sciences, Denmark.
- GIEC-IPCC, 2006. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4 - Chapitre 10. Emissions imputables au bétail et à la gestion du fumier.
- Girault R., 2011. Etude des cinétiques de dégradation anaérobie et des interactions entre substrats organiques : impact sur les filières de co-digestion. Thèse de Doctorat Cemagref.
- Levasseur P., Aubert C., Berger S., Charpiot A., Damiano A., Meier V., Quideau P., 2011. Développement d'un calculateur pour déterminer l'intérêt technico-économique de la méthanisation dans les différents systèmes de productions animales : Méthasim - Innovations Agronomiques 17 (2011), 241-253.
- Loyon L., Guiziou F., Beline F., Peu P., 2007. Gaseous Emissions (NH₃, N₂O, CH₄ and CO₂) from the aerobic treatment of piggery slurry. Comparison with a conventional storage system. Elsevier Ltd.
- Météo France, 1996. Normales Climatologiques 1961-1990. Tome 1, Stations de métropole, division climatologie et banques de données.
- RMT, 2010. Guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevage, Institut de l'Élevage.
- Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Beline F., Paillat J.M, Dourmad J.-Y., 2010. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II : effects of animal housing, manure storage and treatment practices. Animal.
- Svoboda I., 2003. Anaerobic treatment of livestock manure,- FEC Services.
- Vedrenne F., 2007. Etude des processus de dégradation anaérobie et de production de méthane au cours du stockage des lisiers. Cemagref.