

**Mise au point d'une méthode standardisée
d'évaluation de l'efficacité des produits
visant à lutter contre les odeurs et
les émissions gazeuses en élevage – Phase II**

Rapport final

Novembre 2011

(version amendée de mai 2012)

Étude effectuée pour : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL)

Cofinancement : Direction Générale de prévention des Risques

N° de Contrat : 0001347

N° Affaire : L060702

Laboratoire national de métrologie et d'essais

Établissement public à caractère industriel et commercial • Siège social : 1, rue Gaston Boissier - 75724 Paris Cedex 15 • Tél. : 01 40 43 37 00
Fax : 01 40 43 37 37 • E-mail : info@lne.fr • Internet : www.lne.fr • Siret : 313 320 244 00012 • NAF : 7120B • TVA : FR 92 313 320 244
CRCA PARIS C.AFF.RENNES - IBAN : FR76 1820 6002 8058 3819 5600 104 - BIC : AGRIFRPP882

SOMMAIRE

Conclusion générale	3
CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	8
1. LA COMPOSITION DU LISIER	8
1.1 <i>La matière organique.....</i>	<i>9</i>
1.2 <i>La matière minérale.....</i>	<i>9</i>
1.3 <i>La flore microbienne du lisier de porc.....</i>	<i>10</i>
2. VARIATION DE LA COMPOSITION DU LISIER DE PORCS	10
2.1 <i>Le stade physiologique de l'animal.....</i>	<i>10</i>
2.2 <i>La conduite d'élevage.....</i>	<i>12</i>
3. ORIGINE DE LA PRODUCTION D'ODEUR DU LISIER DE PORCS	13
3.1 <i>La dégradation du lisier</i>	<i>13</i>
3.2 <i>Les gaz émanant du lisier de porcs</i>	<i>13</i>
4. LE PRÉLÈVEMENT ET LA CONSERVATION DU LISIER	19
4.1 <i>Le prélèvement du lisier.....</i>	<i>19</i>
4.2 <i>La conservation des échantillons</i>	<i>21</i>
CHAPITRE II. ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DES PRODUITS A INCORPORER.....	23
1. LE LISIER : DE LA FERME AU LABORATOIRE	23
1.1 <i>Le lisier témoin</i>	<i>23</i>
1.2 <i>Conditions de prélèvement et de conservation.....</i>	<i>23</i>
2. DÉVELOPPEMENT DU BANC D'ESSAI D'INCORPORATION DE PRODUITS DANS LE LISIER	25
2.1 <i>Réacteurs</i>	<i>25</i>
2.2 <i>Chambre de dilution</i>	<i>26</i>
2.3 <i>Analyseurs de composés odorants.....</i>	<i>27</i>
2.4 <i>Prélèvements olfactométriques</i>	<i>27</i>
3. MISE AU POINT DE LA MÉTHODE	27
3.1 <i>Le lisier : volume et mode d'agitation.....</i>	<i>28</i>
3.2 <i>Les débits d'air</i>	<i>30</i>
3.3 <i>Les conditions de pilotage des réacteurs.....</i>	<i>30</i>
3.4 <i>Prélèvements et mesures olfactométriques</i>	<i>31</i>
3.5 <i>Comportement du lisier de référence.....</i>	<i>31</i>
4. PROTOCOLE D'ESSAI	35
4.1 <i>Préparation des produits à incorporer.....</i>	<i>35</i>
4.2 <i>Mesure de l'efficacité</i>	<i>36</i>
4.3 <i>Effet d'un inhibiteur bactérien.....</i>	<i>36</i>
4.4 <i>Application de la méthode à des produits à action biologique</i>	<i>38</i>
4.5 <i>Application de la méthode à un produit à action chimique</i>	<i>40</i>
4.6 <i>Estimation des incertitudes</i>	<i>42</i>
5. CONCLUSION.....	42
CHAPITRE III. BIBLIOGRAPHIE	43
CHAPITRE IV. ANNEXES	47

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le Bureau des Biotechnologies et de l'Agriculture du Service de la prévention des nuisances et de la qualité de l'Environnement, Direction Générale de la prévention des Risques du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) a confié au Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), en 2008, une étude devant aboutir à une ou plusieurs méthode(s) de mesure standardisée(s) qui permettraient d'évaluer l'efficacité des produits dits neutralisants, masquants et/ou réducteurs d'odeur à disperser dans l'air ou à incorporer aux lisiers. Ces produits sont utilisés pour réduire les nuisances olfactives consécutives aux émissions de gaz générées par les élevages porcins.

Le projet Sentoref (Système d'Évaluation des Neutralisants et Traitements des Odeurs, méthode de REFérence) a été réalisé dans le cadre d'une convention entre le LNE et le MEDDTL et a conduit à la mise au point d'un premier protocole applicable à la mesure de l'efficacité des produits désodorisants à disperser dans l'air (novembre 2009).

Le présent rapport détaille la mise au point d'un second protocole permettant de mesurer l'efficacité des produits à incorporer dans le lisier.

L'utilisation d'un lisier témoin aux caractéristiques les plus constantes possibles est un pré-requis. Un approvisionnement fiable est réalisé auprès de l'IFIP Institut du porc. Pour ce lisier témoin à l'état brut, les émissions des gaz ammoniac (NH_3) et hydrogène sulfuré (H_2S) sont en concentrations élevées (30 mg/m^3 à 80 mg/m^3) et peuvent être mesurées au cours du temps. L'efficacité d'un produit incorporé au lisier pour réduire les concentrations d' NH_3 et d' H_2S peut être mesurée dans des conditions maîtrisées. L'incertitude sur la mesure de l'efficacité est de l'ordre de 20%.

Le banc d'essai permet également de réaliser des prélèvements de gaz pour mesurer les concentrations d'odeur par olfactométrie dynamique et caractériser cette odeur. Des mesures ont été réalisées sur des lisiers contenant les produits à action biologique ou chimique dans un laboratoire partenaire, l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN).

Les résultats obtenus montrent que, dans les conditions d'essais définies, sur des périodes de quelques heures à plusieurs semaines, les produits à action chimique ou biologique utilisés :

- n'ont pas d'efficacité mesurable au niveau des émissions d' NH_3 et d' H_2S par rapport au lisier témoin,
- n'ont pas d'efficacité mesurable sur les concentrations d'odeur ou d'amélioration significative des caractéristiques de cette odeur par rapport au lisier témoin.

Cependant, une efficacité significative est observée à la fois sur les concentrations des gaz étudiés, et sur les caractéristiques de l'odeur, lorsque le protocole est appliqué à un inhibiteur bactérien générique.

Une certification de produits, basée sur l'évaluation de leur efficacité mesurée en terme d'action chimique et olfactive pourrait s'envisager pour les produits de l'élevage porcin.

Table des illustrations

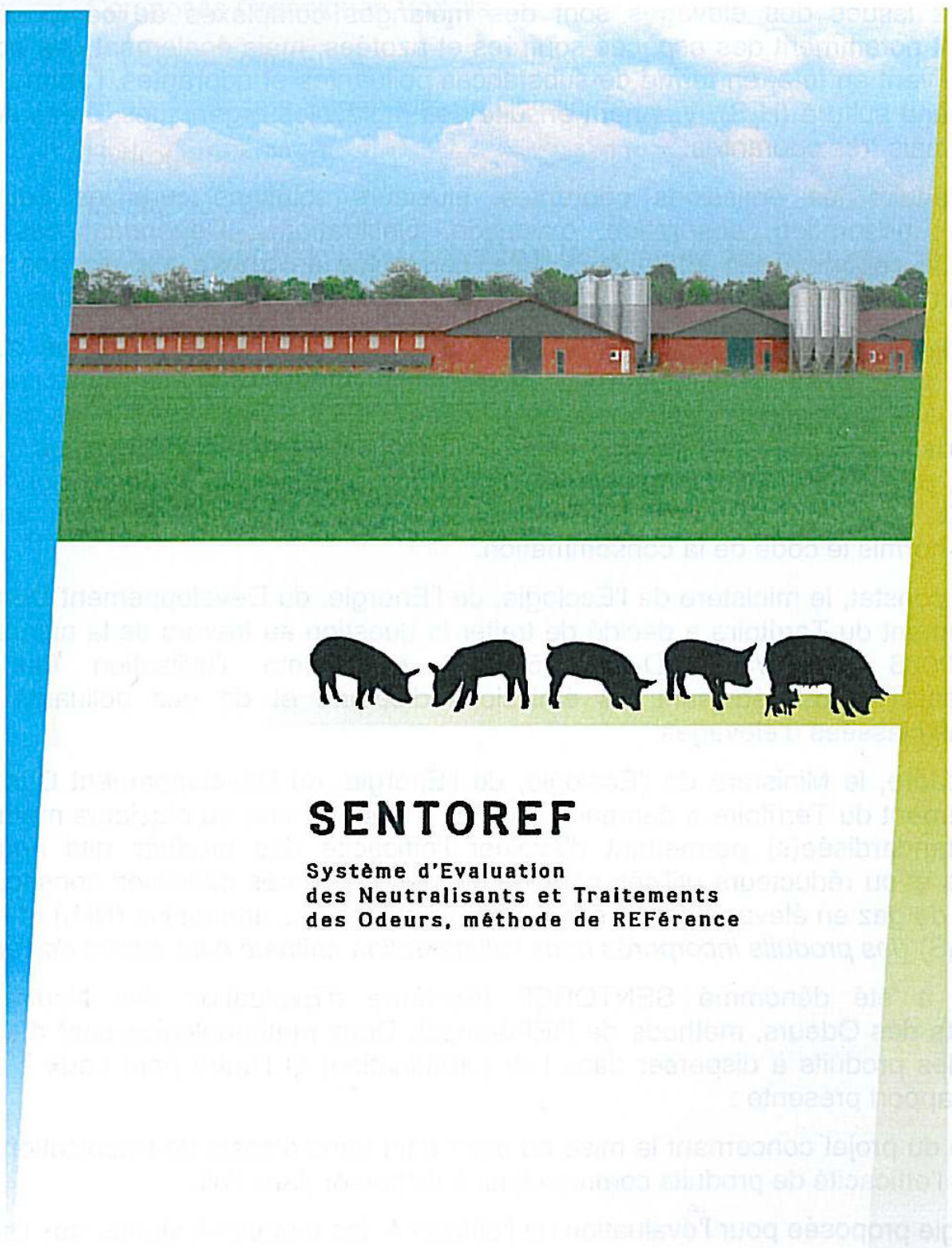
Figure 1	Répartition des différentes formes de l'azote dans le lisier de porc [13]	9
Figure 2	Les systèmes de conduite d'élevage	12
Figure 3	Équilibre entre NH_3 gazeux contenu dans l'atmosphère et NH_4^+ dissous dans le lisier	16
Figure 4	Effets du pH et de la température sur l'équilibre entre NH_3 et NH_4^+ dans une solution aqueuse d'ammoniaque [55]	17
Figure 5	Sédimentation normale du lisier en fosse de stockage [66]	19
Figure 6	Sonde de prélèvement [66].....	20
Figure 7	Montage expérimental d'analyse de l'ammoniac et de l'hydrogène sulfuré par la baie d'analyse	26
Figure 8	Principe de la chambre de dilution des gaz	27
Figure 9	Evolution de la concentration d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré au cours du temps d'un lisier non agité	28
Figure 10	Evolution des concentrations d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré d'un lisier agité en continu au cours du temps	29
Figure 11	Evolution des concentrations d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré d'un lisier en agitation séquentielle au cours du temps	30
Figure 12	Evolution de la concentration d'ammoniac du lisier de référence au cours du temps	32
Figure 13	Evolution de la concentration d'hydrogène sulfuré du lisier de référence au cours du temps	32
Figure 14	Evolution de la concentration d'ammoniac du lisier de référence au cours du temps	33
Figure 15	Evolution de la concentration d'hydrogène sulfuré du lisier de référence au cours du temps	33
Figure 16	Évolution de la concentration d'ammoniac de trois réacteurs contenant le même lisier	34
Figure 17	Comparaison des concentrations d'ammoniac du lisier seul et du lisier avec inhibiteur bactérien	36
Figure 18	Comparaison des concentrations d'hydrogène sulfuré entre le lisier témoin et le lisier avec inhibiteur bactérien.....	37
Figure 19	Evolution de la concentration d'ammoniac au cours du temps pour le lisier contenant le produit A et le lisier témoin	38
Figure 20	Comparaison de l'évolution de la concentration d'hydrogène sulfuré entre le lisier contenant le produit A et le lisier témoin au cours du temps	39
Figure 21	Comparaison de l'évolution de la concentration d'ammoniac entre le lisier contenant le produit D et le lisier témoin au cours du temps	39
Figure 22	Comparaison de l'évolution de la concentration d'hydrogène sulfuré entre le lisier contenant le produit D et le lisier témoin au cours du temps	40
Figure 23	Comparaison de l'évolution de la concentration d'ammoniac entre le lisier contenant le produit E et le lisier témoin au cours du temps	41
Figure 24	Comparaison de l'évolution de la concentration d'hydrogène sulfuré entre le lisier contenant le produit E et le lisier témoin au cours du temps	41

Liste des tableaux

Tableau 1	Composition des lisiers porcins (données Cemagref de 1991 à 2007)	8
Tableau 2	Quantités moyennes d'éléments minéraux produits par animal en fonction du stade physiologique pour un élevage naisseur-engraisseur [10]	10
Tableau 3	Concentration moyenne du lisier en éléments minéraux en fonction du stade physiologique [10]	11
Tableau 4	Volume de lisier produit par animal et par jour en fonction du stade physiologique [10].....	11
Tableau 5	Exemple de répartition des animaux et du lisier selon leur stade physiologique [10]	11
Tableau 6	Mesure de gaz odorants émis par une porcherie d'engraissement de 40 porcs à un taux de ventilation de 1500m ³ /h et avec stockage sous les animaux [26][27]	14
Tableau 7	Concentration en ammoniac dans l'élevage porcin	15
Tableau 8	Concentration en hydrogène sulfuré dans l'élevage porcin	15
Tableau 9	Composition du lisier utilisé pour l'étude	24
Tableau 10	Les températures du lisier de la conservation à l'analyse	24
Tableau 11	Résultats olfactométriques du lisier témoin	34
Tableau 12	Produits utilisés lors des essais	35
Tableau 13	Résultats olfactométriques du lisier témoin avec inhibiteur microbien	37
Tableau 14	Résultats olfactométriques des produits à action biologique.....	40
Tableau 15	Résultats olfactométriques pour le produit E	42

Lexique

CEMAGREF :	Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts
H ₂ S :	Hydrogène sulfuré
IFIP :	Institut du porc
IRSN :	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
LNE :	Laboratoire national de métrologie et d'essais
MEDDTL :	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
NH ₃ :	Ammoniac



SENTOREF

**Système d'Evaluation
des Neutralisants et Traitements
des Odeurs, méthode de REFérence**

Contexte

Les élevages de porcs génèrent des composés polluants et/ou odorants ayant un impact potentiel sur les écosystèmes, la santé des éleveurs et sur les riverains de ces élevages qui se plaignent fréquemment de nuisances odorantes.

Les odeurs issues des élevages sont des mélanges complexes de composés volatils comprenant notamment des espèces soufrées et azotées, mais également des acides gras volatils. Les substances les plus polluantes et odorantes sont l'ammoniac (NH_3) et l'hydrogène sulfuré (H_2S).

Afin de réduire les émissions odorantes, plusieurs solutions curatives peuvent être proposées: adsorption, absorption, oxydation, biofiltration... Cependant ces procédés impliquent la captation des effluents pollués et leur mise en œuvre dépend des polluants à traiter, de leur teneur et de leurs variabilités temporelle et spatiale.

L'utilisation de produits visant à limiter les émissions odorantes et/ou les substances polluantes tend à se développer depuis plusieurs années comme étant une solution alternative aux traitements classiques. Ainsi, des produits à pulvériser dans l'air, à épandre sur les caillebotis ou à introduire dans le lisier, ayant des actions, biologiques ou physico-chimiques, plus ou moins importantes sur les odeurs et/ou les gaz polluants sont mis sur le marché. Leur fabrication et commercialisation n'étaient réglementées par aucun texte spécifique hormis le code de la consommation.

Face à ce constat, le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, du Transport et du Logement (MEDDTL) a décidé de traiter la question au travers de la circulaire du 25 octobre 2006 (DPPR/SEI3/FD-06-0225) qui réglemente l'utilisation des produits désodorisants et/ou réduisant les émissions d'odeurs et de gaz polluants dans les installations classées d'élevages.

Dans ce cadre, le MEDDTL a demandé, en 2008, au LNE d'élaborer une ou plusieurs méthodes de mesures standardisées permettant d'évaluer l'efficacité des produits dits neutralisants, masquants et/ou réducteurs utilisés pour réduire les nuisances olfactives et les émissions de gaz en élevage porcin.

Le projet a été dénommé SENTOREF : Système d'Évaluation des Neutralisants et Traitements des Odeurs, méthode de REFérence.

La phase I de l'étude SENTOREF, conclue fin 2009, a permis de mettre en place d'un banc d'essai de brumisation et d'un protocole de mesure destinés à évaluer l'efficacité des produits à disperser dans l'air (par détermination chimique de concentrations de gaz odorants et mesures olfactométriques normalisées). Ainsi, le LNE est en mesure de procéder à l'évaluation des produits commerciaux à disperser dans l'air.

La phase II de l'étude SENTOREF, dont traite ce rapport, a pour objectif de mettre en place une méthode standardisée d'évaluation de l'efficacité des produits de traitement du lisier par incorporation de substances chimiques ou biologiques. Pour cette phase, le LNE s'est entouré de partenaires experts du domaine, tels que l'IFIP Institut du Porc et le CEMAGREF sollicités pour leurs connaissances sur le sujet. Les principales étapes de cette étude sont les suivantes :

- Mettre au point un protocole d'essai des produits à incorporer dans le lisier ;
- Développer le banc d'essai ;
- Évaluer la méthode de mesure de l'efficacité sur une sélection de produits.

Chapitre I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Comme évoqué dans le rapport final de la phase I du projet, les essais de la phase II testant les produits à incorporer au lisier seront réalisés sur du lisier naturel prélevé en exploitation. Une étude bibliographique a été réalisée afin de connaître les caractéristiques principales du lisier ainsi que les phénomènes à l'origine de l'émanation des gaz. Les différentes techniques de prélèvement et de conservation du lisier ont également été abordées.

1. LA COMPOSITION DU LISIER

Le lisier résulte du mélange des fèces et des urines des porcs [1]. A ce mélange primaire viennent s'ajouter les eaux de lavages et de pluies, les résidus alimentaires, les additifs divers et les poils.... [2] [3]

Ce mélange se présente sous forme liquide plus ou moins visqueux de densité voisine de l'eau : 1,00 à 1,05 et de pH proche de la neutralité (variable d'un facteur 1,2) [4].

Le lisier est constitué de matières organiques et minérales. Le Tableau 1 présente la composition standard des lisiers de porc.

Tableau 1 Composition des lisiers porcins (données Cemagref de 1991 à 2007)

Paramètres	Concentrations		
	min.	Moyenne	max.
pH	7,2	7,6	8,5
Matière Séche (kg.m ⁻³)	20,1	49,0	111,3
Matière Organique (kg.m ⁻³)	12,7	37,7	94,5
Matières en Suspension (kg.m ⁻³)	11,9	34,6	64,8
Matières volatiles en suspension (kg.m ⁻³)	7,0	25,2	48,5
Azote Total (kg.m ⁻³)	2,1	4,4	8,0
Ammonium (kg.m ⁻³)	1,7	3,0	6,8
Carbone Organique Total (gC/Kg)	10	32,5	55
Acides Gras Volatils (kg.m ⁻³)	0,5	8,8	16,6
<i>Ac acétique (kg.m⁻³)</i>	/	7,1	/
<i>Ac propionique (kg.m⁻³)</i>	/	0,7	/
<i>Ac butyrique (kg.m⁻³)</i>	/	0,2	/
<i>Ac isovalérique (kg.m⁻³)</i>	/	0,6	/
<i>Ac valérique (kg.m⁻³)</i>	/	0,2	/
Sulfure d'hydrogène	/	0,326	/
Sulfate dissous (kg.m ⁻³)	/	4	/
P total (kgP.m ⁻³)	0,7	1,3	3,0
Potassium total (kgK.m ⁻³)	0,5	2,1	3,9
Magnésium total (kgMg.m ⁻³)	0,9	1,6	2,5
Calcium total (kgCa.m ⁻³)	2,1	4,0	6,0

1.1 La matière organique

Les matières en suspension (MES) représentent le matériel, organique ou inorganique qui n'est pas en solution dans le lisier. Les teneurs de ces MES et de la matière sèche montrent une quantité importante de matières fibreuses dans le lisier variable d'un facteur 5. La quantité de matières volatiles en suspension (MVS) représente la fraction organique dite volatile soit 73% des MES.

Les acides gras volatils (AGV) sont issus de la fermentation de la matière organique, les teneurs en AGV sont très variables: dues à l'absorption intestinale non totale des porcs [5] et à la production rapide d'acides organiques [6] lors de la décomposition des protéines et des fibres au cours du stockage [7] [8] : de 0,5 à 16,6 kg.m⁻³. Ils sont principalement constitués d'acétate (80%), de propionate (10%) et de valérate et butyrate (10%).

1.2 La matière minérale

Les concentrations en azote total (NT) des lisiers, sont comprises entre 2,1 et 8,0 kg.m⁻³. L'azote ammoniacal (NH₄⁺) représente environ 75% de l'azote total du lisier [3]. Soluble dans l'eau, il est bien réparti dans le lisier. L'azote organique solide, constitue la fraction restante [9]. D'après Levasseur, le lisier sédimente en cours de stockage dans les bâtiments. La teneur en azote total du lisier est donc légèrement supérieure dans le fond de la fosse [10].

L'azote présent dans le lisier a deux origines [11]:

- les urines,
- les fécès.

L'azote fécal se présente sous forme d'azote organique contenu initialement dans les aliments (protéines, acides aminés). Celui-ci n'a soit, pas été absorbé lors de la digestion soit il provient des sécrétions endogènes de l'intestin (azote microbien, cellules intestinales mortes et du mucus intestinal) [3].

L'azote urinaire; quant a lui, provient de la transformation en urée des acides aminés sanguins non utilisés par l'organisme [12].

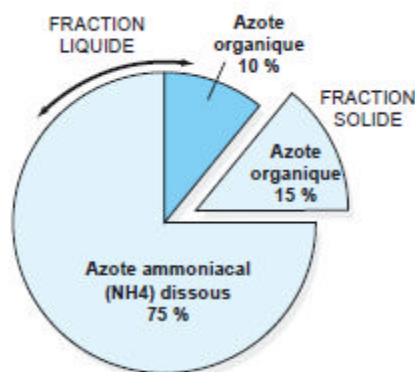


Figure 1 Répartition des différentes formes de l'azote dans le lisier de porc [13]

La Figure 1, illustre la répartition des différentes formes d'azote du lisier entre la phase liquide (85% de l'azote total) et la phase solide (15% de l'azote total).

Les autres éléments minéraux présents majoritairement dans le lisier sont : le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium. Ils sont aussi importants, quand ils sont présents en quantité suffisante, pour la vie et la croissance de la flore du lisier.

1.3 La flore microbienne du lisier de porc

Les microorganismes présents dans le lisier de porc sont entre 3 et $6 \cdot 10^{10}$ bactéries/g de fèces [14]. Leur rôle est déterminant dans la dégradation de la matière organique, la génération des odeurs et les risques sanitaires encourus [15]. Cependant, peu d'études ont aujourd'hui été réalisées sur la composition de la flore microbienne du lisier.

Selon l'étude de Patrick Dabert [16], des changements de population microbienne et de numération sont observés lorsque le lisier passe d'une étape de la filière de gestion des déjections à l'autre (pré-fosse à canalisation à fosse extérieure...). Ainsi entre un lisier sous caillebotis et un lisier en lagune de stockage, les genres bactériens présents ne seront pas les mêmes et le nombre de bactéries présentes non plus.

Les variations qualitatives et quantitatives de la communauté microbienne sont plus importantes entre deux modes de stockage que dans le temps pour un même type de stockage. Ce phénomène s'explique par le fait que les communautés microbiennes sont fortement influencées par les paramètres physico-chimiques de leur environnement.

2. VARIATION DE LA COMPOSITION DU LISIER DE PORCS

Les principaux facteurs pouvant influencer la composition du lisier de porc relèvent des paramètres suivant :

- Le stade physiologique,
- L'alimentation de l'animal,
- Le système d'élevage.

2.1 Le stade physiologique de l'animal

La composition du lisier produit dans une exploitation, varie entre les stades physiologiques des porcs, mais également pour un même stade physiologique.

2.1.1 Variation inter-stade physiologique

La composition du lisier évolue tout au long de la vie des animaux, mais également entre les porcs et les truies. Le lisier de ces dernières est beaucoup plus liquide. Les tableaux suivants (Tableau 2 et Tableau 3) présentent la quantité moyenne d'éléments minéraux (N, P, K) produite ainsi que leur concentration dans le lisier en fonction des différents stades physiologiques de l'animal.

Tableau 2 Quantités moyennes d'éléments minéraux produits par animal en fonction du stade physiologique pour un élevage naisseur-engraisseur [10]

	N (kg)	P ₂ O ₅ (kg)	K ₂ O (kg)
Maternité	19,8	13,6	17,3
Post-sevrage	0,5	0,3	0,4
Engraissement	3,6	1,8	2,8

Tableau 3 Concentration moyenne du lisier en éléments minéraux en fonction du stade physiologique [10]

	N (kg/m ³)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)	K ₂ O (kg/m ³)
Truie gestante	3,9	3,8	2,1
Truie allaitante	3,4	2,1	2,1
Post-sevrage	5,3	4	2,8
Engraissement	7,9	5,5	4,5

Les truies produisent un lisier moins concentré en azote mais en volume bien plus important. Par conséquent, la quantité d'azote qu'elles produisent est plus grande.

Le Tableau 4 présente un exemple de répartition entre les différents stades physiologiques dans un élevage naisseur-engraisseur classique [10] et l'estimation, à partir des données du Tableau 5 de la proportion de lisier de chaque stade dans une fosse où les lisiers seraient mélangés.

Cet exemple permet de mettre en évidence que le volume de lisier le plus important est celui des porcs en engraissement, le plus concentré en azote.

Tableau 4 Volume de lisier produit par animal et par jour en fonction du stade physiologique [10]

	Volume (L/animal/jour)
Truie gestante	15 à 15,4
Truie allaitante	16,4 à 21,5
Post-sevrage	1,8 à 2,3
Engraissement	3,7 à 4,2

Tableau 5 Exemple de répartition des animaux et du lisier selon leur stade physiologique [10]

	Nombre d'animaux	Volume (m ³ /jour)	%
Truies	125 dont 105 gestantes	1,97	32,5
Post-sevrage	450	0,9	14,9
Engraissement	797	3,18	52,6

2.1.2 Variation intra-stade physiologique

Pour chaque stade physiologique, le niveau de rejet sera influencé par les performances zootechniques des porcs. En effet, Corpen a montré que l'indice de consommation (IC en zootechnie pour mesurer l'efficacité de la conversion d'un aliment en muscle par un animal) et le gain de poids vif ou le gain moyen quotidien de poids (GMQ), influencent le rejet des porcs en post-sevrage et en engraissement [17][18].

De plus, concernant l'animal, le sexe des porcs en engraissement influence le niveau des rejets. Les femelles, entre 30 et 103 kg ont un niveau de rejets azotés de 6% inférieur à celui des mâles castrés. La castration entraînant une diminution de l'efficacité alimentaire, augmente l'excrétion d'azote et de phosphore des mâles castrés de 15% par rapport au mâle entier [10]. Le type génétique influence aussi les rejets, en effet, la sélection des porcs en fonction de la vitesse de croissance et de l'efficacité alimentaire entraîne une réduction des rejets et donc une modification du lisier.

2.2 La conduite d'élevage

2.2.1 Le système d'élevage

La pratique de l'élevage « hors-sol » et le mode de collecte des déjections associé influencent la qualité du lisier. En France, les exploitations porcines sont généralement orientées vers des élevages de type « naisseur », composés de truies et de porcelets en sevrage, de type « engraisseur », composés uniquement de porcs sevrés ou de type « naisseur-engraisseur ». Le type « naisseur-engraisseur » est le plus répandu et plus rentable économiquement [19].

La production porcine suit un schéma organisationnel très précis. En effet, l'élevage est le plus souvent conduit en bandes. La conduite en bandes consiste à regrouper dans un même local des animaux de même âge ou de même stade physiologique.

Comme le montre la Figure 2, en France, il existe trois systèmes d'élevage, un système non intensif ou les porcs sont élevés en plein air (0,5%), et deux systèmes intensifs : l'élevage sur caillebotis intégral (85%) et l'élevage sur litière (15%) [20].

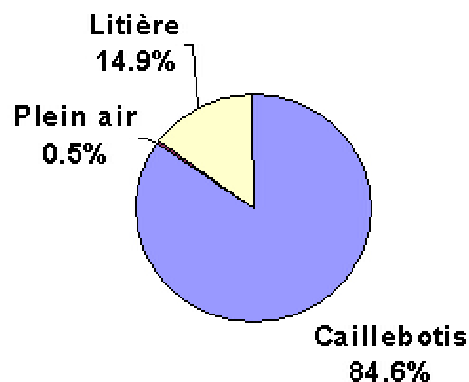


Figure 2 Les systèmes de conduite d'élevage

Ainsi, la plupart des sols des bâtiments d'élevage sont munis de caillebotis intégral et de préfosse souterraine. Les caillebotis permettent l'écoulement des matières fécales, des urines et des eaux de lavage, qui constituent le lisier, dans les préfosses situées sous les animaux.

Le stockage du lisier sous les animaux est variable de quelques jours à plusieurs mois, suivant le rythme des vidanges vers la fosse commune d'homogénéisation, ainsi la composition du lisier se modifie au cours du temps, avec son vieillissement et la production en continu de lisier par les porcs [21].

2.2.2 L'alimentation des animaux

L'alimentation est un paramètre essentiel de la composition du lisier. Environ 60 à 80 % de l'azote et du phosphore ingérés ne sont pas assimilés par l'animal et environ 90 % pour le potassium [22][23].

Les porcs étant généralement rationnés, la quantité d'aliment ingéré par jour est relativement constante [21]. Par contre, la nature des matières premières et la composition de l'aliment influent sur la composition du lisier. Cela s'explique par la digestibilité idéale des protéines contenues dans la ration, qui diffère selon les matières premières.

L'ajustement des apports aux besoins des porcs, permet une réduction du rejet des éléments minéraux. Enfin, les suppléments et les additifs font varier la composition du lisier. En effet, ces molécules utilisées en quantité variable dans les élevages permettent, soit une amélioration de la digestibilité des nutriments, soit une amélioration de la vitesse de croissance et de l'indice de consommation [21].

Les modes d'alimentation et d'abreuvement constituent des facteurs de dilution du lisier. En effet, 60% du volume d'eau consommé par le porc se retrouve dans les déjections [24]. La littérature s'accorde généralement à montrer que l'alimentation sèche (aliments et eau séparés), en présence d'abreuvoir, engendre une production plus importante de lisier par rapport aux autres systèmes comme la soupe (eau + aliments mélangés sous forme de soupe) par exemple [21].

3. ORIGINE DE LA PRODUCTION D'ODEUR DU LISIER DE PORCS

3.1 La dégradation du lisier

La génération d'odeurs en élevage porcin, résulte de la dégradation des déjections (féces et urine) et ce, essentiellement en condition anaérobie (absence d'oxygène). La digestion anaérobie du lisier de porc s'effectue normalement selon quatre phases successives

1 : hydrolyse

2 : acidogénèse

3 : acétogénèse

4 : méthanogénèse

Pour la majorité de ces étapes, les bactéries responsables des réactions micro-biologiques sont anaérobies strictes ou facultatives, c'est-à-dire que l'absence d'oxygène est préférable pour leur développement mais qu'elles peuvent tout de même se développer en présence d'oxygène.

3.2 Les gaz émanant du lisier de porcs

En théorie, les produits finaux de la dégradation anaérobie sont essentiellement : de l'eau, du biogaz (mélange inodore de méthane et de dioxyde de carbone), de l'humus (matière organique stabilisée) et des éléments minéralisés tels l'ammonium et le potassium [25]. Cependant, le déroulement de cette dégradation est fortement dépendant des conditions du milieu (Température, pH, matière sèche, oxygène dissous...). Ceci explique pourquoi, les conditions idéales n'étant jamais réunies en élevage, la dégradation du lisier de porc à la ferme est incomplète. La production de biogaz est donc accompagnée d'autres composés malodorants comme l'ammoniac (NH_3) et le sulfure d'hydrogène (H_2S) comme le montre le Tableau 6.

Tableau 6 Mesure de gaz odorants émis par une porcherie d'engraissement de 40 porcs à un taux de ventilation de 1500m³/h et avec stockage sous les animaux [26][27]

Classe des composés	Composé	Concentration mesurée dans l'air de la porcherie (mg/m ³ air) (1)
Souffrés	Hydrogène sulfuré H ₂ S	Non détecté
Acides	Acide acétique CH ₃ COOH	1,5*10 ⁻⁶ -0,02
	Acide n-butyrique C ₃ H ₇ COOH	0,001-0,7
	Acide n-valérique C ₄ H ₉ COOH	0,002-0,08
Azotés	Ammoniac NH ₃	1-24
	Indol C ₈ H ₆ NH	0,003
	Scatol C ₉ H ₈ NH	0,003
Phénols	Phénol C ₆ H ₅ OH	0,0000025-0,001
	p-Crésol C ₆ H ₄ CH ₃ OH	0,0000045-0,04
Aldéhydes et cétones	Acétaldéhyde CH ₃ CHO	0,0036-0,0078
	Butyraldéhyde C ₃ H ₇ CHO	0,003
	Valéraldéhyde C ₄ H ₉ CHO	0,000022
	Hexanal C ₅ H ₁₁ CHO	0,0000014-0,022
	Heptanal C ₆ H ₁₃ CHO	0,0000041-0,041
	Acétone C ₃ H ₆ O	0,01-0,043

(1) milligrammes par mètre cube normal:

Quantité de gaz contenue dans un mètre cube d'air mesuré à 101,3 kPa et à 273

Ce recensement des gaz odorants émis par le lisier indique que le composé odorant principal de l'air d'une porcherie est l'ammoniac.

On constate que le sulfure d'hydrogène n'est pas détecté dans l'atmosphère de la porcherie. C'est un gaz plus lourd que l'air qui, en concentration raisonnable, stagne sous les caillebotis, juste au-dessous du lisier. Malgré le fait qu'il ne soit pas détecté en porcherie, il reste très intéressant d'étudier l'émanation de ce gaz car, selon MARTIN *et al* [28] et BELLI FILHO [29], il s'agit du composé le plus important de l'intensité odorante lorsque le lisier est manipulé : lors des vidanges, au brassage, à l'épandage.

Le Tableau 7 et le Tableau 8 présentent les concentrations de ces deux gaz dans l'atmosphère à différents endroits et différentes étapes de la filière de gestion du lisier de porc.

Tableau 7 Concentration en ammoniac dans l'élevage porcin

Lieu	Concentration		Référence
	ppm	mg/m ³ d'air	
Au moment de l'épandage	31	22	[29]
24h après épandage	18,7	13,3	
Epandage	18,7	13,3	[30]
	4,6 à 11,4	3,3 à 8,1	[31]
Bâtiment	0,7 à 52	0,5-37	[32]
	3,5 à 10	2,5 à 7,1	[33]
	8 à 12	5,7 à 8,5	[34]
	0,8 à 21,4	0,6 à 15,2	[35]
	3 à 18	2,1 à 12,8	[36]
	8,4 à 35,2	6 à 25	[37]
	7 à 28	5 à 20	[38]
Sortie extraction d'air	18,3 à 42,2	13 à 30	[38]
	14 à 21,1	10 à 15	[38]
Au-dessus des caillebotis	68 à 80	48,3 à 57	[39]
Stockage	174	123,5	[30]

Tableau 8 Concentration en hydrogène sulfuré dans l'élevage porcin

Lieu	Concentration		Référence
	ppm	mg/m ³ d'air	
Au moment de l'épandage	10	14	[29]
24h après épandage	ND	ND	
Epandage	0,14 à 4,6	0,2 à 6,44	[40]
	3,5 à 5,2	4,9 à 7,3	[31]
Bâtiment	0,045 à 1,23	0,06 à 1,7	[35]
	0,04 à 1,3	0,06 à 1,8	[36]
	0,03 à 0,2	0,04 à 0,28	[41]
	3,6	5	[42]
	Sortie extraction d'air	0,149 à 1	0,21 à 1,4
Stockage	1,28	1,8	[30]

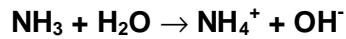
3.2.1 L'ammoniac

L'ammoniac (NH₃) est un gaz incolore mais avec une odeur âcre et forte. Il est plus léger que l'air (avec une densité de 0,77 g/l contre 1,29 g/l pour l'air) et soluble dans l'eau [44]. L'ammoniac présent en porcherie est principalement le résultat de la dégradation de l'urée par l'uréase selon le processus suivant [45].



Cette hydrolyse débute dès la mise en contact de l'urine avec les fécès [46].

L'ammoniac sous forme gazeuse (NH_3) est en équilibre avec l'ammonium (NH_4^+) dissous dans l'eau selon l'équation suivante:



Le processus de volatilisation de l'ammoniac correspond à un transfert d'ammoniac gazeux dans l'atmosphère immédiat à partir de l'ammoniac présent dans le lisier. Ce processus varie en fonction d'un certain nombre de paramètres:

- concentration en NH_4^+ du lisier
- activité enzymatique
- pH
- température du lisier
- superficie du lisier exposé à l'air
- vitesse de l'air
- propriétés du lisier

Un équilibre s'établit entre les concentrations de NH_4^+ et de NH_3 [50] dans le lisier. À mesure que les concentrations d' NH_3 augmentent (perte d' NH_3 du lisier), davantage de NH_4^+ est transformé en NH_3 afin de maintenir l'équilibre à l'intérieur du lisier, ce qui se traduit par des concentrations accrues de NH_3 . Selon le même raisonnement, les concentrations d' NH_3 augmenteront en fonction de la concentration du lisier en NH_4^+ (Figure 3).

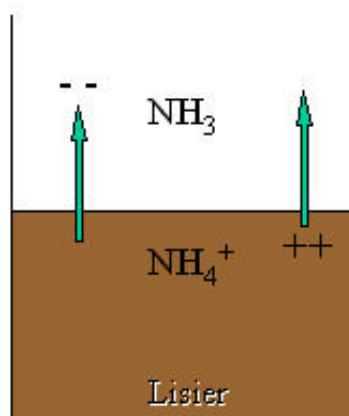


Figure 3 Équilibre entre NH_3 gazeux contenu dans l'atmosphère et NH_4^+ dissous dans le lisier

3.2.1.1 Facteurs influençant l'émission de NH_3

Influence du pH

Chaque activité enzymatique requiert des valeurs de pH adaptées à la flore bactérienne mise en jeu. Ainsi Veecken *et al.* [47], à la suite de leur étude sur l'hydrolyse de déchets organiques, concluent que le pH a une influence non négligeable sur l'hydrolyse. En effet, entre les valeurs 5 et 7 de pH, la constante d'hydrolyse est doublée et la relation entre le pH et la constante d'hydrolyse est linéaire. Cependant les auteurs ne précisent pas si au-delà de ces valeurs le pH conserve son influence.

D'autre part, le pH influe également sur l'équilibre $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$. À pH élevé (>9), la forme prédominante est NH_3 qui peut être transféré vers l'atmosphère (Figure 4). L'hydrolyse de l'urée commençant immédiatement sur le sol de la porcherie, ceci provoque une hausse du pH et donc de l'émission de NH_3 [48].

Le pH est donc un paramètre à contrôler afin de s'affranchir de l'effet pH sur les émanations de gaz du lisier.

Influence de la température

La température agit sur le coefficient de dissociation $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ qui passe de $7,3 \cdot 10^{-10}$ à 0°C , à $5,3 \cdot 10^{-10}$ à 50°C [49]. Elle agit également sur l'activité des bactéries à l'origine de la décomposition de l'urée par l'uréase. Cette activité est positivement corrélée à la température jusqu'à une température d'inactivation [50]. Des températures de moins de 10°C réduisent considérablement l'émission d' NH_3 [51]. Den Brok et Verdoes [52] ont présenté des résultats obtenus à l'aide d'un système de refroidissement du lisier, qui maintient la couche superficielle du lisier à moins de 15°C . Ce système a permis de réduire l'émission moyenne de NH_3 de 44%.

Les températures de l'air et du sol lors de l'épandage sont aussi importantes car des températures élevées entraîneront un niveau d'émissions de NH_3 plus élevé [53].

La Figure 4 montre les effets de la température sur l'équilibre entre NH_3 et NH_4^+ . Ces résultats sont en accord avec ceux de Kermarrec [54] qui avançait une hausse de la diffusion de NH_3 proportionnelle à celle de la température.

La température est donc un paramètre à maîtriser afin de s'affranchir de l'effet température sur les émanations de gaz du lisier.

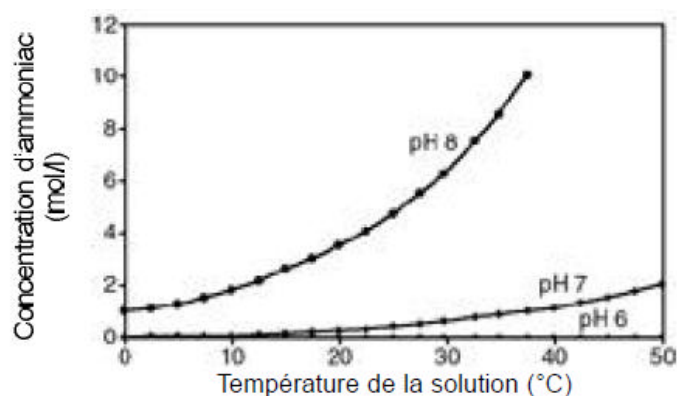


Figure 4 Effets du pH et de la température sur l'équilibre entre NH_3 et NH_4^+ dans une solution aqueuse d'ammoniac [55]

L'influence du circuit de l'air dans les bâtiments

Les émissions de NH₃ sont d'autant plus importantes que la vitesse de l'air est élevée [51][56], la vitesse de l'air au-dessus du lisier doit donc être maîtrisée. L'extraction de l'air sous les caillebotis (encore appelé système de ventilation à extraction basse) assainit l'air de la porcherie en entraînant les gaz vers le bas. En provoquant un courant d'air à la surface du lisier, cela amplifie les rejets vers l'atmosphère [50].

La vitesse de l'air au-dessus du lisier lors des essais est donc un paramètre à maîtriser afin de contrôler les émanations de gaz du lisier.

L'influence de la surface de contact air-lisier

L'émission émanant de déjections récoltées sous forme de lisier et stockées sous les animaux dans les fosses, est proportionnelle à la surface de contact air-lisier, alors que la hauteur de lisier dans cette fosse ne joue qu'un rôle secondaire [12]. Les surfaces souillées de lisier dans une porcherie augmentent les échanges air-lisier et augmentent directement les taux d'émission de NH₃ [51][56].

La surface de contact air-lisier sera le dernier paramètre à maîtriser afin d'assurer la constance des émanations en laboratoire.

3.2.2 La production de sulfure d'hydrogène

3.2.2.1 Principe

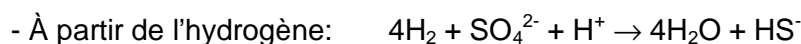
Martin *et al* [28] et Belli Filho [57] ont montré que l'hydrogène sulfuré est le composé le plus important de l'intensité odorante forte à très forte au moment de l'épandage (même si les concentrations dans l'air de H₂S au moment de l'épandage sont en dessous de celles de NH₃). La décomposition du lisier produit l'H₂S qui resterait en partie retenu, lors du stockage, à l'intérieur du lisier sous forme de petites bulles. Ces petites bulles s'échapperaient rapidement dans l'air lors du brassage du lisier. L'émission de ce gaz est donc très rapide, soit quelques minutes après le brassage [58]. Le lendemain de l'épandage, l'intensité odorante n'est plus due majoritairement à H₂S, mais influencée par les acides gras volatils, les phénols et surtout l'ammoniac.

Les sulfures existent en solution sous trois formes dont l'équilibre, présenté ci dessous, dépend du pH :



Ainsi avec des pH compris entre 7 et 8 pour le lisier de porc, les formes rencontrées sont H₂S et HS⁻ [4].

L'H₂S est produit, à partir de dix jours de stockage du lisier, par la dégradation anaérobie de composés organiques soufrés comme les protéines et la réduction dissimilatrice des sulfates réalisée par les micro-organismes [59]. Ces micro-organismes sont des bactéries anaérobies connues sous le nom de bactéries sulfato-réductrices. Suivant le substrat qu'elles utilisent, les bactéries sulfato-réductrices peuvent donner lieu à deux réactions différentes [4]



3.2.2.2 Facteurs influençant les émissions de H_2S

Les facteurs influençant les émissions de sulfure d'hydrogène ont été moins étudiés que ceux influençant les émanations d'ammoniac. Cependant, selon Clanton et Schmidt [60], les émissions de sulfure d'hydrogène dans l'atmosphère dépendent principalement du pH et de la température des fosses de stockage.

4. LE PRÉLÈVEMENT ET LA CONSERVATION DU LISIER

La qualité de l'échantillon de lisier prélevé influencera la représentativité des analyses [61].

4.1 Le prélèvement du lisier

4.1.1 Le lisier : un substrat hétérogène

La composition hétérogène du substrat et notamment la présence de matières sédimentables, rend le prélèvement d'un échantillon de lisier de porc représentatif assez complexe [62][63][64][65]. En effet, au cours du stockage (en bâtiment ou en extérieur), le lisier sédimente. Il se forme alors des strates aux caractéristiques différentes.

La Figure 5 illustre les différentes strates du lisier au cours du stockage. Au fond de la fosse une fraction à caractère organique marqué est observable, correspondant aux sédiments. Cette strate contient l'azote organique et le phosphore. Elle est recouverte d'une couche liquide contenant les éléments minéraux solubles : l'azote ammoniacal et le potassium. Enfin, une croûte est formée par la matière cellulosique qui remonte à la surface et se dessèche. Cette dernière strate n'est pas observable pour le lisier en bâtiment sous les animaux, car ce lisier est alimenté en continu par les porcs en lisier frais et n'a pas le temps de se dessécher.

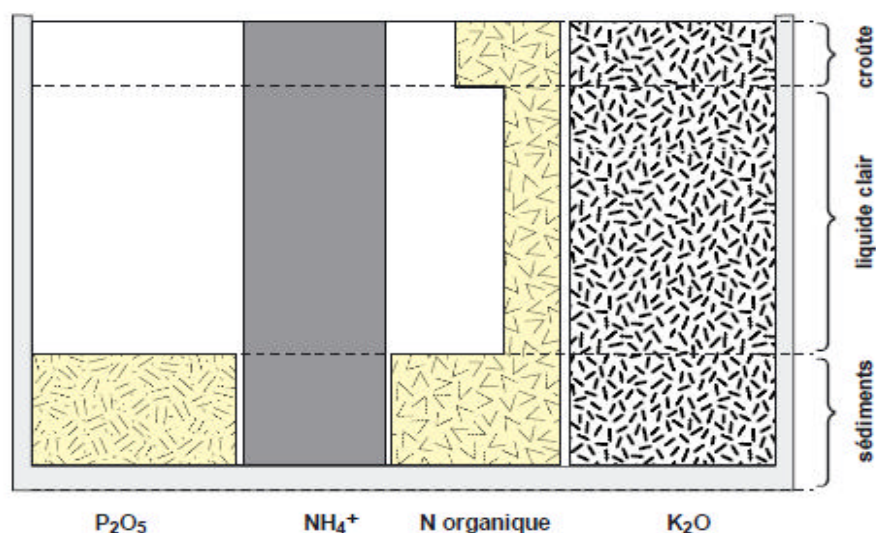


Figure 5 Sédimentation normale du lisier en fosse de stockage [66]

4.1.2 Méthode d'échantillonnage du lisier

Levasseur [66] évoque l'importance du prélèvement d'un échantillon afin qu'il soit représentatif de la fosse d'origine et ainsi limiter les biais.

Le choix de la technique d'échantillonnage dépendra principalement de l'objectif des prélèvements :

- connaissance de la composition du lisier dans un but de fertilisation des cultures,
- recherche expérimentale.

Plusieurs techniques d'échantillonnages existent et diffèrent par leur mode de prélèvement, le lieu de prélèvement, la facilité de prélèvement et le niveau de précision souhaité.

Dans le cadre de ces travaux, c'est un niveau de précision élevé qui sera privilégié, même s'il nécessite plus de temps afin de réaliser avec du matériel spécifique la prise d'échantillons. Ainsi, Levasseur [66] rappelle les nombreux facteurs pouvant jouer sur la qualité de l'échantillonnage :

- la difficulté d'accès au pourtour de la fosse,
- l'absence ou présence d'un brasseur,
- le positionnement de la conduite d'alimentation,
- la pente de la fosse.

Une des méthodes les plus précises pour obtenir des échantillons représentatifs d'une fosse sans brassage et donc sans perte d'éléments du lisier est le carottage sur toute la hauteur du lisier, avec un prélèvement de lisier sur 3 à 5 strates équidistantes selon le degré de précision souhaité [63].

4.1.2.1 Le carottage sur toute la hauteur de lisier

Le carottage sur toute la hauteur de lisier s'effectue avec une sonde de prélèvement, munie en son extrémité d'un clapet de fermeture (Figure 6).

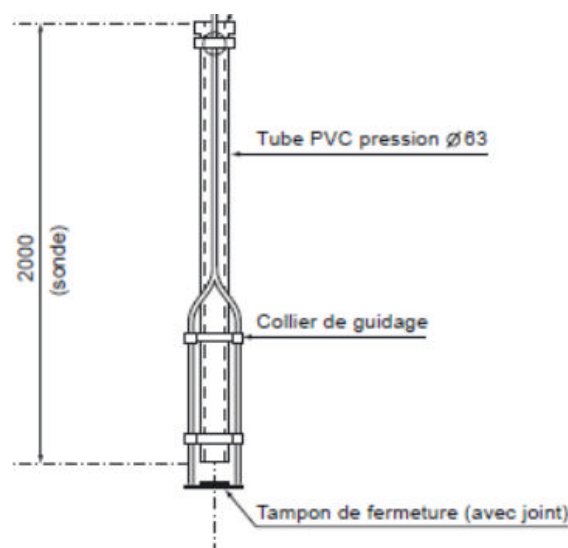


Figure 6 Sonde de prélèvement [66]

Cette méthode de prélèvement permet de respecter les proportions de chacune des strates.

Le nombre de sous échantillons prélevés pour obtenir un échantillon représentatif dépendra du niveau de précision recherché. Plus le nombre de sous échantillons sera élevé, plus l'échantillon sera représentatif de la fosse d'origine. De plus, les prélèvements devront se faire à différents points de la fosse, car en plus de son hétérogénéité verticale, le lisier présente aussi une hétérogénéité horizontale. En préfosse, le lieu d'implantation des auges, des abreuvoirs et le lieu de déjection des porcs participeront à donner un lisier hétérogène plus ou moins concentré et/ou dense.

4.1.2.2 Le prélèvement à différentes strates du lisier

Cette méthode consiste à échantillonner le lisier sur 3 à 5 niveaux de hauteur équidistants. L'addition d'un même volume de ces différentes strates constituera l'échantillon final. Comme pour la méthode énoncée précédemment, le nombre de sous échantillons prélevés en plusieurs points afin de constituer l'échantillon final déterminera la précision du prélèvement.

Van Der Hoeck [67] et Bernard [63] recommandent cette méthode pour connaître simultanément la composition globale du lisier et sa stratification.

La technique de prélèvement choisie devra être représentative et reproductible afin de n'introduire aucun biais pour la suite des essais. Une fois le lisier prélevé, il est nécessaire de le conserver avant son utilisation expérimentale.

4.2 La conservation des échantillons

Si l'étape du prélèvement est importante pour la représentativité des analyses, celle de la conservation des échantillons l'est tout autant. En effet, comme expliqué dans les parties précédentes, le lisier est un milieu biologique complexe. Le LNE ne possédant pas de lisier « frais » disponible sur le site, la congélation des prélèvements effectués est incontournable pour conserver le lisier. Cette méthode est aujourd'hui déjà utilisée par l'IFIP Institut du Porc ou le CEMAGREF.

L'effet de la congélation sur les caractéristiques des produits organiques est une question récurrente plutôt appliquée aux aliments. Aucune étude scientifique n'a été menée à ce jour sur l'effet de la congélation d'un lisier sur la population bactérienne. Cependant, en se basant sur des études d'autres milieux organiques (aliments, ordures ménagères...), il est possible d'appréhender les effets de la congélation sur le lisier de porc tant au niveau physico-chimique que microbiologique.

4.2.1 Effets de la congélation sur la flore microbienne

4.2.1.1 Principe de la congélation

Des observations expérimentales ont montré que les opérations de congélation et de décongélation induisent un état de stress, voire détruisent les micro-organismes présents dans un milieu organique [68].

Les basses températures vont provoquer la cristallisation de l'eau contenue dans le milieu en glace. L'eau disponible diminue, ce qui ralentit ou stoppe l'activité microbienne et enzymatique.

En général, lors de la congélation, deux effets interviennent et sont à mettre en relation avec la cristallisation de l'eau :

- Les cristaux de glace produits endommagent les cellules de façon létale. Il est nécessaire de contrôler la cinétique de descente en température afin que celle-ci ne soit pas trop brutale.

- Une phase aqueuse résiduelle hyper-osmotique persiste, ce qui provoque des effets osmotiques létaux. C'est-à-dire que les cristaux de glace qui apparaissent hors des cellules et formés d'eau pure génèrent une phase aqueuse résiduelle qui se concentre en solutés. Les cellules du milieu réagissent à cet environnement hyper-osmotique en se déshydratant, ce qui entraîne des altérations irréversibles.

Divers facteurs interviennent sur la viabilité des microorganismes : les conditions de congélation (milieux de congélation, cinétique de congélation), de stockage (durée, température) et les conditions de décongélation [69].

Pour le stockage du lisier au congélateur, le milieu le plus favorable de congélation est le lisier pur, sans aucun ajout, ne permettant pas la préservation de tous les microorganismes, mais ne modifiant pas les composantes du milieu.

Plus la congélation est rapide (surgélation), plus les microorganismes restent intacts. A -18°C , le système métabolique des cellules n'est pas complètement figé, il y a évolution lente du milieu au cours du temps et formation de cristaux de glace. Si la congélation est supérieure à -80°C , il y a solidification du milieu par vitrification (état solide sans cristaux), qui entraîne très peu ou aucune évolution du milieu, le système est alors amorphe. La température de -25°C qui peut être obtenue en laboratoire est un bon compromis entre -18°C et -80°C .

De même, la durée de stockage est limitée dans le temps, en effet, plus un échantillon est conservé longtemps et plus des germes sont perdus : mort ou non-revivification des microorganismes. Cette durée de conservation est fonction de la température de congélation.

Ainsi, considérant les effets des températures de congélation sur le milieu, la conservation est limitée à quelques mois pour -25°C et peut aller jusqu'à plusieurs années à -196°C .

4.2.1.2 Effets létaux sélectifs et partiels de la congélation

La congélation tue une partie de la flore de manière sélective, car les microorganismes n'ont pas la même résistance au froid suivant leurs caractéristiques. Chez les bactéries il existe quatre grands types de parois qui induisent ou non, suivant leur composition, une résistance à différentes conditions environnementales (pH, chaleur...).

Ainsi les groupes à membrane souple comme les mycoplasmes vont exploser suite à la congélation, les Gram⁻ exploseront moins facilement que les Gram⁺ [70]. Le lisier étant composé majoritairement de populations Gram⁺ dont plusieurs groupes fermentaires sont responsables des odeurs, il est probable que la majorité des microorganismes résiste à la congélation et continue de dégrader la matière organique après décongélation.

4.2.2 Effets sur les paramètres physico-chimiques

Peu d'informations sont disponibles à ce sujet mais d'après les avis de certains chercheurs (CEMAGREF, IFIP) travaillant sur le lisier, il est possible de se faire une idée des effets de la congélation sur les caractéristiques physico-chimiques des produits organiques.

Tout d'abord, pour les paramètres physico-chimiques classiques la congélation a peu d'effet.

Cependant, d'après les observations des chercheurs du CEMAGREF, les cinétiques de dégradation de la matière organique seraient significativement différentes entre des lisiers frais et des lisiers congelés. Ces différences pourraient être liées à des modifications au niveau de la flore bactérienne et/ou au niveau des caractéristiques de la matière organique de ce substrat complexe.

Chapitre II. ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DES PRODUITS A INCORPORER

Afin de pouvoir mesurer et de façon répétable les émanations des gaz majeurs du lisier, certains paramètres ont été définis suite à l'étude bibliographique. D'autres ont fait l'objet d'une étude expérimentale avant d'être fixés. L'objectif est de développer une méthodologie capable de mettre en évidence et de quantifier une diminution des émissions gazeuses et de la corrélérer avec les mesures olfactométriques.

1. LE LISIER : DE LA FERME AU LABORATOIRE

1.1 Le lisier témoin

Afin de tester l'efficacité des produits de traitement du lisier et de comparer les résultats entre eux, il est nécessaire d'effectuer les essais sur un lisier naturel le plus « reproductible » possible. Certains paramètres ont été définis afin d'obtenir un lisier « type », qui deviendrait le lisier de référence pour le projet. C'est pourquoi la station expérimentale de l'IFIP Institut du Porc, partenaire du projet a été choisie. La collecte des prélèvements a été effectuée sur la station de Romillé dans le département de l'Ille-et-Vilaine.

La station expérimentale de l'IFIP est un élevage expérimental sur lequel des études sont menées en continu sur les porcs. De nouveaux aliments, de nouveaux croisements de races porcines ou différentes conditions d'élevage sont notamment testés. Afin d'étudier et comparer les données expérimentales il existe une bande de porc «témoin» sur l'exploitation. Les conditions d'élevage de ces animaux sont connues, n'ont subi aucun traitement et se veulent représentatives de l'élevage de porcs en France. Le lisier de cette bande de porcs en engraissement a été choisi comme référence pour la réalisation du projet SENTOREF pour trois raisons essentielles :

- Il s'agit d'un lisier maîtrisé. L'IFIP assure la régularité de nombreux paramètres d'élevage (température, race des porcs, nourriture, cf annexe 1....) qui influent sur la composition du lisier. Plus ces paramètres sont constants et maîtrisés plus le lisier est reproductible d'une bande à une autre.
- Le lisier est brut, c'est-à-dire qu'il n'a pas été traité avec des produits chimiques visant à limiter les odeurs.
- L'IFIP est capable de fournir ce lisier de « référence » de manière régulière en fonction des besoins de l'étude et des essais.

1.2 Conditions de prélèvement et de conservation

1.2.1 Collecte et conservation du lisier

Les prélèvements de lisier ont été réalisés directement dans la préfosse des porcs en engraissement, à température ambiante de la salle ($24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$).

La méthode de prélèvement choisie est le carottage sur toute la hauteur du lisier. Cette méthode permet de s'affranchir de l'hétérogénéité verticale du lisier liée à la sédimentation dans la fosse. Une sonde de prélèvement d'une hauteur de deux mètres (avec une tringle métallique permettant de la fermer ou de l'ouvrir à son extrémité) a été utilisée. Le lisier a été prélevé dans quatre cases sur six et en deux points par case. Cela permet de s'affranchir de l'hétérogénéité horizontale du lisier, liée à l'emplacement des mangeoires et abreuvoirs ou

encore à l'emplacement préféré d'excrétion des fèces des animaux. Afin de prélever 30 litres de lisier, entre 10 et 15 prises par point ont été réalisées. L'ensemble des sous-échantillons a été réuni pour constituer un échantillon moyen.

Après prélèvement, les échantillons d'un litre sont transportés dans des glacières jusqu'au LNE où ils sont ensuite stockés à une température de -25°C .

1.2.2 Composition du lisier prélevé

Le Tableau 9 présente la composition du lisier prélevé et qui a été utilisé pour la suite des manipulations.

Tableau 9 Composition du lisier utilisé pour l'étude

Paramètres	Résultat
Carbone Organique Total (COT)	11.2 g/kg C
Carbone total (élémentaire)	13.88 g/kg C
PH	7.3
Azote total	3.57 g/kg N
Azote ammoniacal (NH ₄)	2.74 g/kg N
Phosphore	1.94 g/kg P ₂ O ₅
Matière sèche (MS) à 60°C	4.3 %
Matière sèche (MS)	4.1 %

L'ensemble des paramètres analysés par un laboratoire extérieur est cohérent avec les résultats présentés dans le Tableau 1.

1.2.3 Préparation du lisier avant analyse

1.2.3.1 Mise en température

Le bâtiment d'élevage dans lequel a été prélevé le lisier a une température moyenne de 24°C . En considérant que la température des pré fosses est plus fraîche que celle du bâtiment car elles se trouvent au niveau du sol, la température du laboratoire a été fixée à 21°C .

Avant l'essai, l'échantillon sorti du congélateur est mis au réfrigérateur puis à température ambiante suivant les temps indiqués dans le Tableau 10. A la fin du protocole de réchauffage, le lisier atteint les 17°C .

Tableau 10 Les températures du lisier de la conservation à l'analyse

Température	Temps
-25°C	3 mois maximum
4°C	24h
21°C	6h
21°C	pendant analyse

La remise en température lente du lisier permet à la flore bactérienne de conserver ses propriétés d'origine.

1.2.3.2 Homogénéisation

Les pots de lisier décongelés sont assemblés dans un récipient de cinq litres et redistribués dans les réacteurs afin de s'assurer de l'homogénéité du lisier à analyser.

1.2.3.3 Suivi du pH

Le pH a été suivi quotidiennement lors des premiers essais pour chaque échantillon. Le pH de 7,5 du lisier témoin est stable et ceux des lisiers avec ajout de produit sont également proches de la neutralité, compris entre 6,7 et 7,5.

2. DÉVELOPPEMENT DU BANC D'ESSAI D'INCORPORATION DE PRODUITS DANS LE LISIER

Le banc d'essai mis en place peut schématiquement être divisé en quatre grandes parties (Figure 7) :

- § le générateur d'air de référence (air zéro),
- § les réacteurs contenant le lisier balayé par un flux d'air,
- § la chambre de dilution de gaz,
- § la baie d'analyse contenant les appareils analytiques pour le dosage de NH_3 et d' H_2S et permettant les prélèvements olfactométriques.

Dans une première phase de développement, les essais ont été réalisés en mode manuel avec des séquences d'analyse de plusieurs heures à deux jours (les week-end). Dans cette configuration, un seul réacteur peut être relié aux analyseurs. Afin de pouvoir obtenir des résultats en parallèle sur plusieurs réacteurs, ceux-ci ont été connectés et déconnectés de la baie d'analyse manuellement. Ce mode de fonctionnement conduit à avoir des interruptions longues entre les enregistrements d'un réacteur donné.

La seconde phase du projet a permis la réalisation d'un banc d'essai piloté par un logiciel dédié et développé par le LNE, dont la programmation permet d'enregistrer en continu les concentrations des gaz NH_3 et H_2S .

L'automatisation du banc permet de mesurer les flux gazeux (avec une seule baie d'analyse) de quatre réacteurs alternativement et de piloter le banc de façon automatique en s'affranchissant des contraintes liées à l'absence des opérateurs la nuit ou les week-end. Le choix des paramètres de cyclage réduit le temps des interruptions de mesure sur un réacteur donné. L'annexe 2 représente schématiquement la configuration du banc.

2.1 Réacteurs

La mesure de la volatilisation de l'ammoniac et des émissions d'hydrogène sulfuré d'un échantillon de lisier est réalisée à partir de réacteurs encore appelés chambres de volatilisation. Il s'agit de « récipients » en verre constitués de deux parties :

- le corps qui est destinée à recevoir le lisier,
- le couvercle qui comprend trois orifices permettant la circulation de l'air.

Les deux parties du réacteur sont jointes hermétiquement au moyen d'une fermeture métallique et d'un joint torique (système fermé). La partie inférieure du réacteur d'un diamètre de 12 cm ($S=113 \text{ cm}^2$) peut contenir jusqu'à 3 L de lisier.

Une circulation d'air est maintenue constante à la surface du lisier. Une pompe péristaltique maintient le niveau de lisier constant par addition d'eau à débit contrôlé (quelques mL/h). L'air sortant du réacteur est dilué dans une chambre de dilution de gaz. Les traces d'eau résiduelles sont éliminées par un réfrigérant.

Les émissions d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré du lisier sont ensuite mesurées par les analyseurs dans la baie d'analyses. Des sorties sont également disponibles pour les prélèvements olfactométriques ou sur cartouche (cf. SENTOREF 1). Les excédents sont évacués sous hotte.

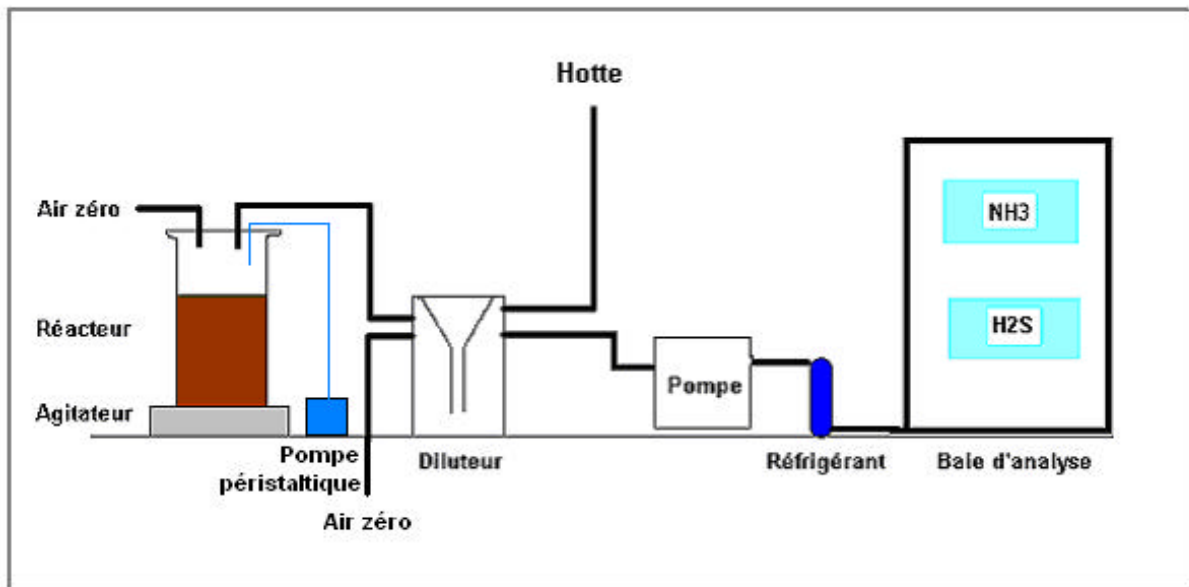


Figure 7 Montage expérimental d'analyse de l'ammoniac et de l'hydrogène sulfuré par la baie d'analyse

2.2 Chambre de dilution

Afin de ne pas saturer les appareils de mesure, du fait du volume de lisier conséquent, la dilution des gaz est nécessaire. Pour cela de l'air propre est injecté dans le diluteur (Figure 8), parallèlement à l'entrée du flux gazeux de l'échantillon. Le débit maîtrisable de cet air zéro permet de contrôler le facteur de dilution. Le facteur de dilution a été optimisé à 12 pour obtenir un signal instrumental suffisant au niveau des détecteurs.

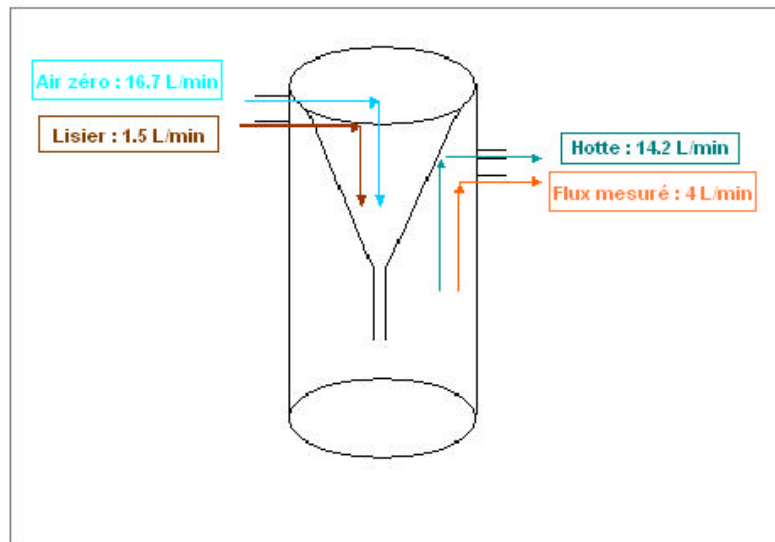


Figure 8 Principe de la chambre de dilution des gaz

2.3 Analyseurs de composés odorants

Les appareils de mesure utilisés, décrits ci-dessous, sont issus du montage ayant servi à la réalisation de la première phase du projet SENTOREF.

L'appareil utilisé pour mesurer l' H_2S est un Chroma S de Chromatotec Group, conçu pour l'analyse des composés soufrés contenus dans l'air ambiant dans des gammes de concentration allant de la gamme ppb (50 ppb soit $0,07 \text{ mg/m}^3$) à la dizaine de mg/m^3 . La technique analytique utilisée est la chromatographie en phase gazeuse avec détection FPD (Flame Photometric Detection) spécifique des composés soufrés.

Pour le NH_3 , l'appareil utilisé est un analyseur en traces HALO-LP™ de Tiger Optics. La technique analytique utilisée pour la mesure de NH_3 par cet analyseur est la technologie LASER CRDS (spectroscopie d'extinction dans une cavité). Cet analyseur a une sensibilité de 6 ppb (soit $4,17 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3$) et permet de détecter l'ammoniac dans une gamme de concentration comprise entre 12 et plusieurs dizaines de milliers de ppb.

2.4 Prélèvements olfactométriques

Le banc est équipé pour réaliser des prélèvements de gaz dans des sacs pour effectuer des analyses olfactométriques ultérieures.

3. MISE AU POINT DE LA MÉTHODE

Des paramètres doivent être fixés pour obtenir des conditions d'essai favorables et répétables.

3.1 Le lisier : volume et mode d'agitation

3.1.1 Choix du volume du lisier

Des essais ont été réalisés sur plusieurs volumes de lisier. Les émissions de gaz sont détectées par les appareils de mesure dès 200 mL de lisier. Cependant, en respectant les doses conseillées par les fabricants, les quantités de produits à incorporer dans l'échantillon de 200 mL sont de l'ordre du microlitre. Par ailleurs, l'évaporation de l'eau au cours de la mesure modifie l'état (croûtage) et la consistance du lisier par augmentation du taux de matière sèche et réduction significative du volume.

Afin de pouvoir suivre l'évolution des émissions de gaz dans le temps, incorporer des quantités plus significatives de produits, et travailler à une échelle de laboratoire, le volume de trois litres de lisier est retenu.

3.1.2 Choix du mode d'agitation

Le mode d'agitation choisi (barreau aimanté) permet d'agiter de façon homogène (vortex visuellement bien formé) trois litres de lisier.

Différentes fréquences d'agitation ont été envisagées. Comme le montre la Figure 9, la concentration de NH_3 émise par le lisier sans agitation augmente pendant les premières heures et se stabilise après 10 heures. Pour l' H_2S , aucun dégagement gazeux n'est mesurable par l'analyseur dans ces conditions d'agitation.

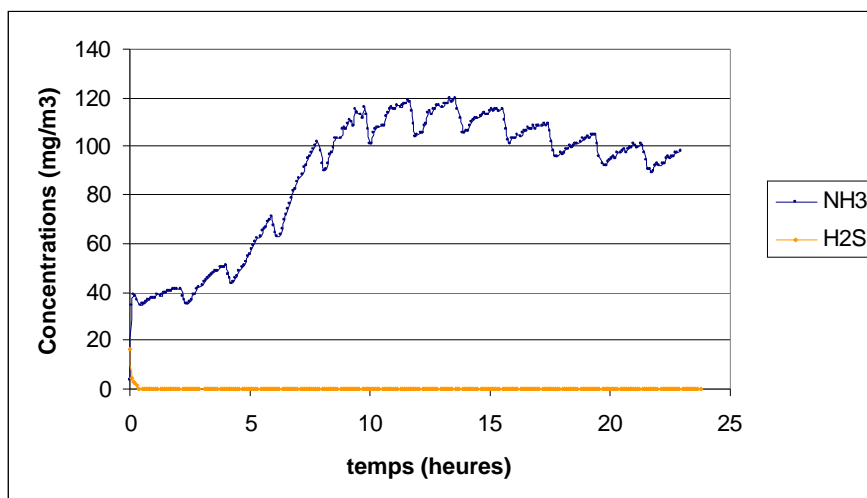


Figure 9 Evolution de la concentration d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré au cours du temps d'un lisier non agité

L'analyse d'un lisier agité en mode continu (500 tours/min) montre un profil de concentration au cours du temps de NH_3 comparable à celui d'un lisier non agité. L'émission d' H_2S en mode agité (Figure 10) est mesurable avec une diminution rapide de la concentration après quelques heures.

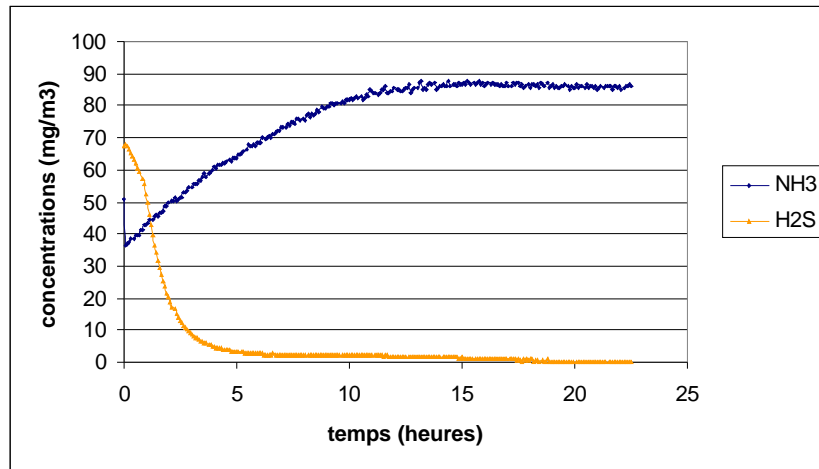


Figure 10 Evolution des concentrations d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré d'un lisier agité en continu au cours du temps

Le compromis entre l'analyse d'un lisier au repos pour lequel l' H_2S n'est pas détecté et l'analyse d'un lisier agité en continu pour lequel l' H_2S n'est plus détecté après plusieurs heures est une agitation séquencée. La Figure 11 représente les mesures d' NH_3 et d' H_2S avec une fréquence d'agitation de 20 minutes toutes les deux heures. Cette séquence a été déterminée afin de laisser un temps de repos deux heures suffisant au lisier pour se régénérer en H_2S . En effet, avec une séquence plus courte d'une heure, le dégagement d' H_2S était peu perceptible. L'acquisition d' H_2S se faisant toutes les cinq minutes par l'analyseur Chroma-S, afin d'obtenir trois mesures par séquence d'agitation, il faut que celle-ci dure au moins 20 minutes.

Chaque agitation conduit à une diminution significative de la concentration d'ammoniac, observable sous forme de pics. Ces pics sont synchrones des agitations et ne sont pas facilement expliqués. Dans le cas de la mesure de l'hydrogène sulfuré, les phases d'agitation correspondraient à un dégazage de la masse de lisier. Les phases de repos permettraient une production d'hydrogène sulfuré dans le lisier. Ce mode d'agitation séquencé permet de suivre l'évolution de l'émission au cours du temps des deux gaz simultanément.

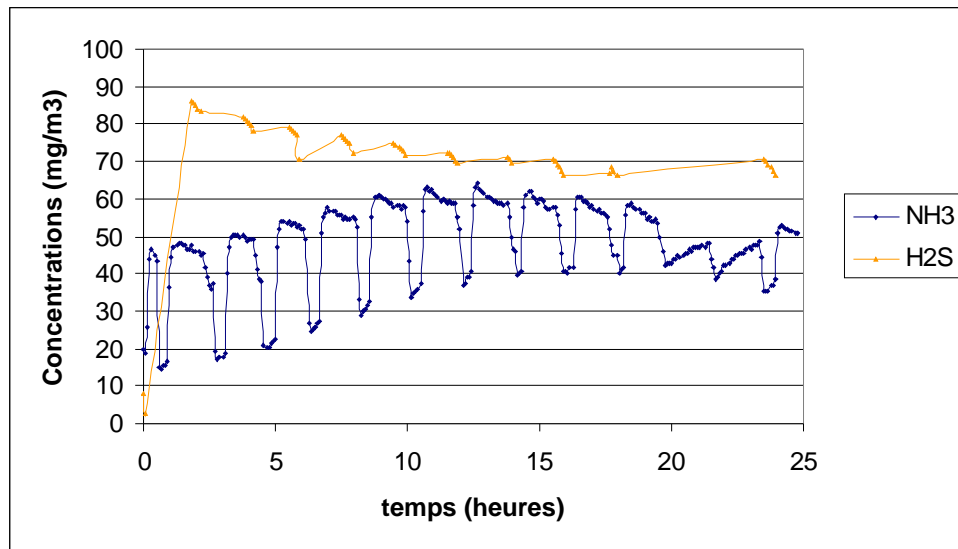


Figure 11 Evolution des concentrations d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré d'un lisier en agitation séquencée au cours du temps

3.2 Les débits d'air

3.2.1 Air zéro

L'air utilisé sur le banc d'essai est fourni par un générateur d'air zéro branché sur le réseau d'air comprimé du laboratoire et qui délivre un air propre exempt d'odeur et de qualité constante. Cet air balaie les réacteurs de lisier, sert de gaz de dilution et de rinçage.

3.2.2 Flux dans les réacteurs

L'air entrant en tête de réacteur, avec un débit de 1,5 L/min, se mélange avec les gaz émis par le lisier. Ce débit entraîne le flux gazeux de l'échantillon vers la chambre de dilution de gaz en minimisant l'assèchement de l'échantillon de lisier. Le taux de renouvellement de l'espace de tête est de deux fois et demi toutes les minutes.

3.2.3 Flux de dilution

Dans le but d'optimiser les plages de mesures des analyseurs une dilution d'un facteur douze a été retenue. Pour cela, le flux de dilution est réglé à 16,7 L/min (1 m³/h).

3.2.4 Débit d'entrée dans la baie d'analyse

En sortie de la chambre de dilution, le débit (18,2 L/min) est réduit au moyen d'une pompe et d'un débitmètre. Pour les analyses de concentrations de gaz, le débit d'entrée est de 2 L/min dans la baie d'analyse. Pour les prélèvements olfactométriques, ce débit est augmenté à 4 L/min.

3.3 Les conditions de pilotage des réacteurs

Le mode manuel consiste à suivre les émissions d'un réacteur sur plusieurs jours, puis de le débrancher pour en analyser un autre. Par conséquent de longues périodes sans mesures sont observées sur les courbes. L'eau a été ajoutée en fonction de l'appréciation visuelle de l'évaporation de l'eau du lisier. Un certain nombre de points aberrants ont été supprimés pour le traitement des courbes

En mode automatique, les séquences sont fixées au démarrage de l'essai. La séquence retenue pour chaque réacteur est :

- une heure d'analyse,
- vingt minutes d'agitation,
- démarrage de l'agitation, dix minutes après le début de la séquence.

Le réacteur suivant est analysé après une période de rinçage de la ligne de mesure par le flux d'air zéro. Le rinçage est terminé lorsque la concentration en ammoniac observée atteint le seuil fixé inférieur à 7 mg/m^3 . Le temps de rinçage d'environ vingt minutes dépend du niveau d'émission de chaque réacteur.

3.4 Prélèvements et mesures olfactométriques

Les prélèvements olfactométriques sont réalisés sur une séquence spécifique lors d'une agitation en fin de manipulation.

Les analyses olfactométriques ont été réalisées par l'IRSN.

Les concentrations d'odeur et les intensités ont été déterminées respectivement selon la norme NF EN 13725 (Qualité de l'air – Détermination de la concentration d'une odeur par olfactométrie dynamique) et NF X 43-103 (Mesures olfactométriques – Mesure de l'odeur d'un effluent gazeux, méthodes supralinéaires). Le caractère hédonique et l'indice de gêne (indice INO) ont également été mesurés. Les techniques de détermination de ces différents paramètres sont présentées dans l'annexe 3.

3.5 Comportement du lisier de référence

3.5.1 Mesure des concentration de gaz

Le suivi des concentrations de NH_3 (Figure 12) et de H_2S (Figure 13) en mode manuel montre les tendances des variations de concentration sur quatre semaines. Pour les deux gaz, les concentrations mesurées diminuent au cours du temps pour tendre vers un épuisement.

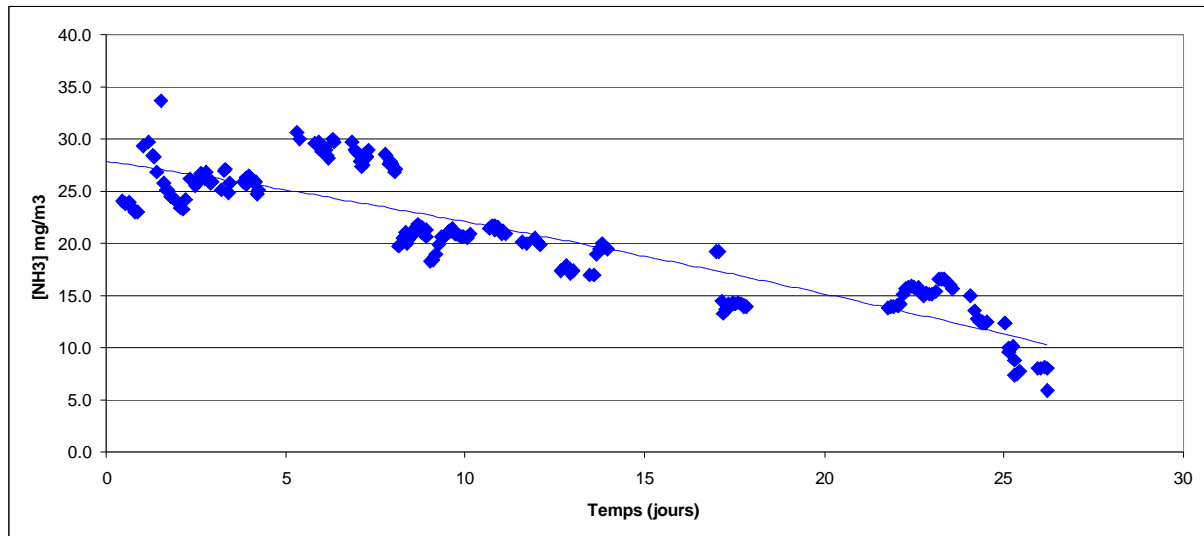


Figure 12 Evolution de la concentration d'ammoniac du lisier de référence au cours du temps

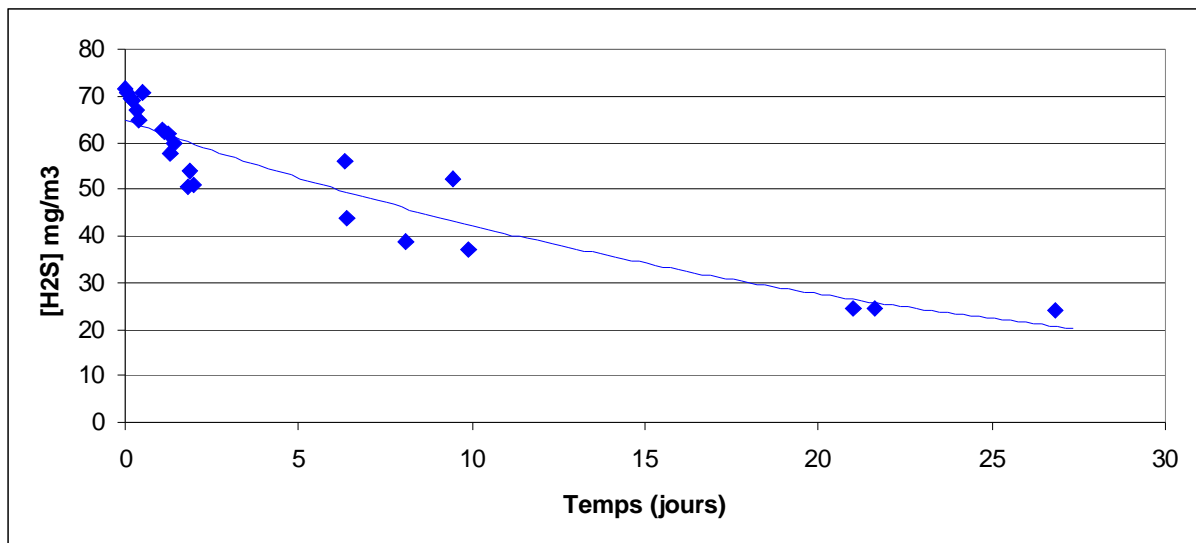


Figure 13 Evolution de la concentration d'hydrogène sulfuré du lisier de référence au cours du temps

Les profils de mesure du lisier témoin en mode automatique pendant quelques jours sont représentés :

- sur les Figure 14 et Figure 15 respectivement pour NH_3 et H_2S sur un réacteur donné,
- sur la Figure 16 pour NH_3 sur trois réacteurs suivis dans un même cycle.

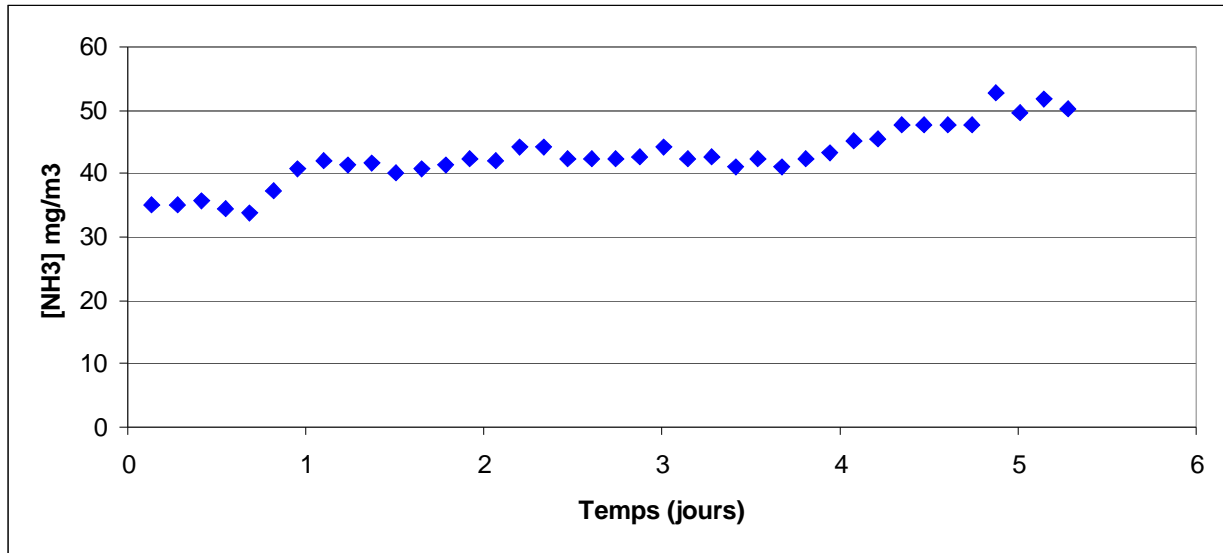


Figure 14 Evolution de la concentration d'ammoniac du lisier de référence au cours du temps

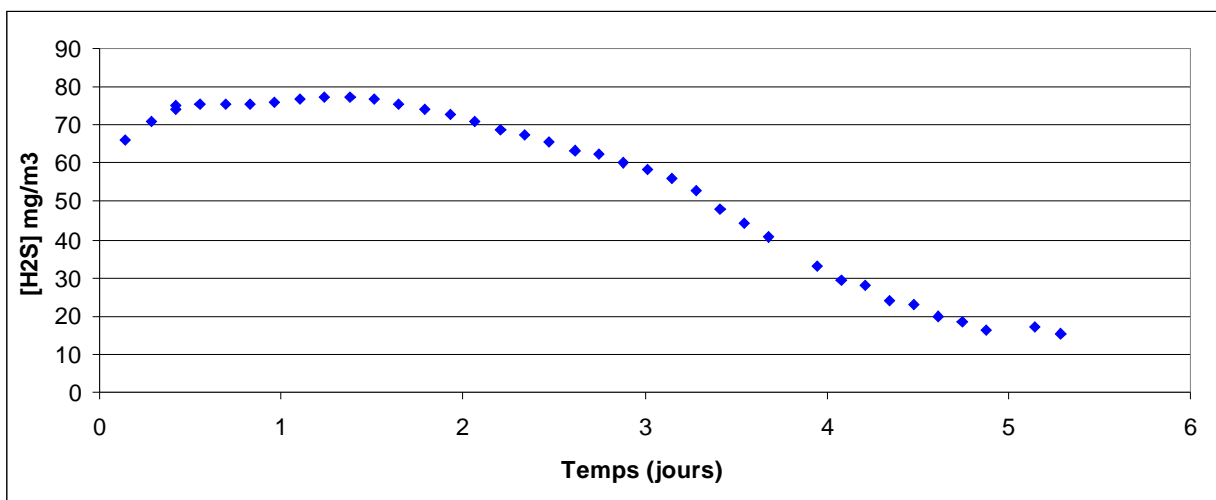


Figure 15 Evolution de la concentration d'hydrogène sulfuré du lisier de référence au cours du temps

Dans ces dernières conditions de mesures, la concentration en ammoniac est stable sur cinq jours alors que la concentration en hydrogène sulfuré diminue dès deux jours et semble indiquer une tendance à l'épuisement (plus rapidement que dans les conditions d'essai du montage manuel).

Les conditions opératoires des modes manuel et automatique sont sensiblement différentes (volumes, débits, dilutions...) et ne permettent pas une comparaison directe des profils obtenus.

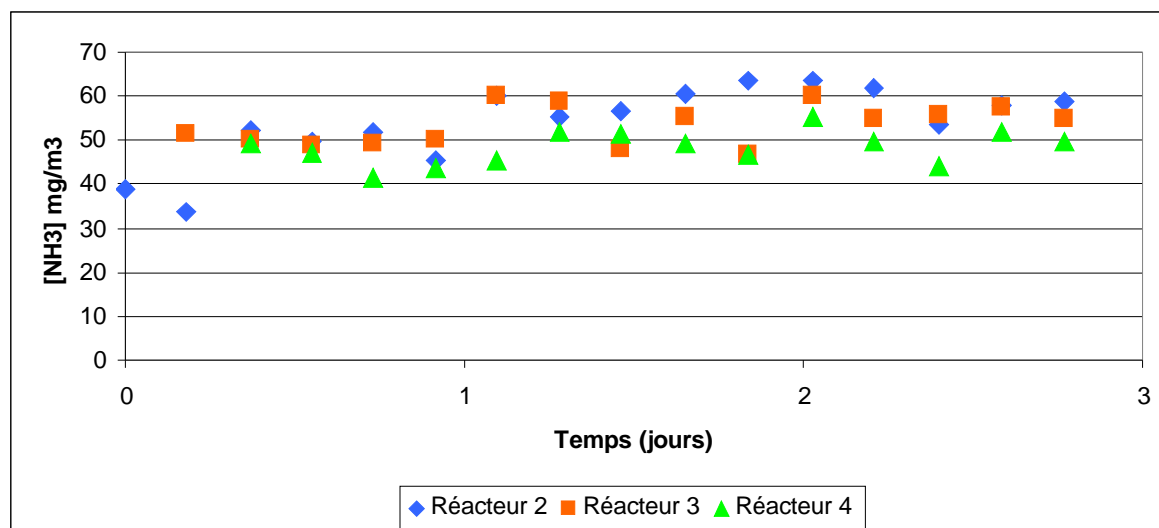


Figure 16 Évolution de la concentration d'ammoniac de trois réacteurs contenant le même lisier

Les évolutions de la concentration d'ammoniac mesurées dans trois réacteurs différents sont comparables.

3.5.2 Mesures olfactométriques

Les résultats des analyses olfactométriques du lisier de référence à différents âges sont regroupés dans le Tableau 11. De plus, afin de vérifier la neutralité du matériel utilisé lors des prélèvements olfactométriques, une mesure de l'air ambiant a été effectuée, appelé BLANC. D'après les résultats obtenus l'équipement ne pollue pas l'échantillon comme le montre le caractère hédonique proche de la neutralité.

Tableau 11 Résultats olfactométriques du lisier témoin

temps (jours)	BLANC	LISIER		
		0	20	39
Concentration d'odeur	< 50	3028	114	101
Caractère hédonique	-0.07	-2.93	-3.29	-2.71
Gêne %	14	50	68	61
Intensité odorante	faible	forte	forte	moyenne

La concentration d'odeur du lisier diminue notablement au cours du temps cependant le caractère hédonique reste nettement négatif.

4. PROTOCOLE D'ESSAI

4.1 Préparation des produits à incorporer

Les essais sont effectués avec différents types de produits commerciaux de traitement des odeurs pour des utilisations en bâtiment, au niveau du stockage des effluents et de l'épandage. Après la sollicitation de la majorité des fabricants de produits pour leur participation à l'étude et l'envoi d'échantillons, deux types de produits se distinguent :

- **Les produits à action « biologique »** . Ils contiennent des microorganismes et/ou des enzymes qui favorisent la croissance de certains microorganismes aux dépens des microorganismes indigènes. L'objectif de ces produits est de favoriser ou d'implanter une flore majoritaire dont le métabolisme diminue l'émission de molécules odorantes et/ou de molécules polluantes. Ils peuvent être sous forme liquide ou solide (poudre).
- **Les produits à action « non-biologique »** . Ils ont plusieurs modes d'action, dont les deux principaux ont été étudiés dans ce rapport :

Les agents masquants. Aucune réaction chimique n'est induite lors de l'utilisation de ces produits qui, comme leur nom l'indique, masquent une odeur désagréable par une odeur considérée comme agréable. Il s'agit de molécules qui vont monopoliser les sites actifs de la perception olfactive au détriment de ceux induisant une odeur gênante. Il s'agit souvent d'un mélange d'huiles aromatiques ou de parfum avec un alcool.

Les agents chimiques. Ces produits agissent chimiquement avec les molécules gazeuses malodorantes ou avec la masse de déchets afin de réduire les émissions odorantes. Ils peuvent aussi réguler le pH et réduire le transfert de certains composés organiques volatils de la phase liquide à l'air ambiant.

Des fabricants ont été sollicités pour participer à cette étude. Le Tableau 12 présente les principales caractéristiques des produits.

Tableau 12 Produits utilisés lors des essais

TYPE D'ACTION	COMPOSITION	CARACTERISTIQUES
BIOLOGIQUE	bactéries, enzymes, minéraux	Efficace en quelques jours et dans le temps (au moins 1 mois) ; Réduction de NH ₃ par stimulation de la flore bactérienne.
CHIMIQUE	arômes, alcools, agents anti-odeur	Action immédiate pendant plusieurs jours; évite et bloque les processus de développement gazeux.
MASQUANT	essences végétales, mélange d'actifs	Action immédiate pour quelques heures; masque l'odeur.

Le mode opératoire d'introduction des produits dans le lisier a été suivi selon les préconisations des fabricants et les doses prescrites ont été multipliées par 10 pour tous les essais.

4.2 Mesure de l'efficacité

L'efficacité d'un produit d'addition est déterminée en comparant les concentrations (en composés ou bien d'odeur) d'un lisier traité à celle d'un lisier non traité dans les mêmes conditions d'essai.

∅ L'efficacité de réduction de l'émission d'un composé i est définie par,

$$EFF\% = (C_{i, \text{témoin}} - C_{i, \text{test}}) / (C_{i, \text{témoin}}) * 100$$
, les concentrations étant mesurées au même âge.

∅ L'efficacité de réduction de l'odeur n'est pas calculable mais est appréciée au moyen des paramètres mesurés (concentration d'odeur) ou qualifiés (caractère hédonique, indice de gêne) lors de l'analyse olfactométrique.

4.3 Effet d'un inhibiteur bactérien

Un inhibiteur bactérien a été ajouté dans les trois litres de lisier. Son activité anti-microbienne permet d'inhiber l'action d'un large spectre de bactéries.

N.B : Ce produit a été utilisé dans un but expérimental pour tester la méthode en laboratoire et ne peut pas être utilisé en exploitation agricole. En effet, ce produit est dangereux pour l'environnement et les produits de dégradation de ce composé sont potentiellement toxiques et stables. Une bio accumulation de ce produit dans l'environnement aurait donc un impact direct sur les organismes aquatiques.

Les suivis des concentrations de NH_3 et de H_2S sur plusieurs jours sont représentés sur les Figure 17 et Figure 18.

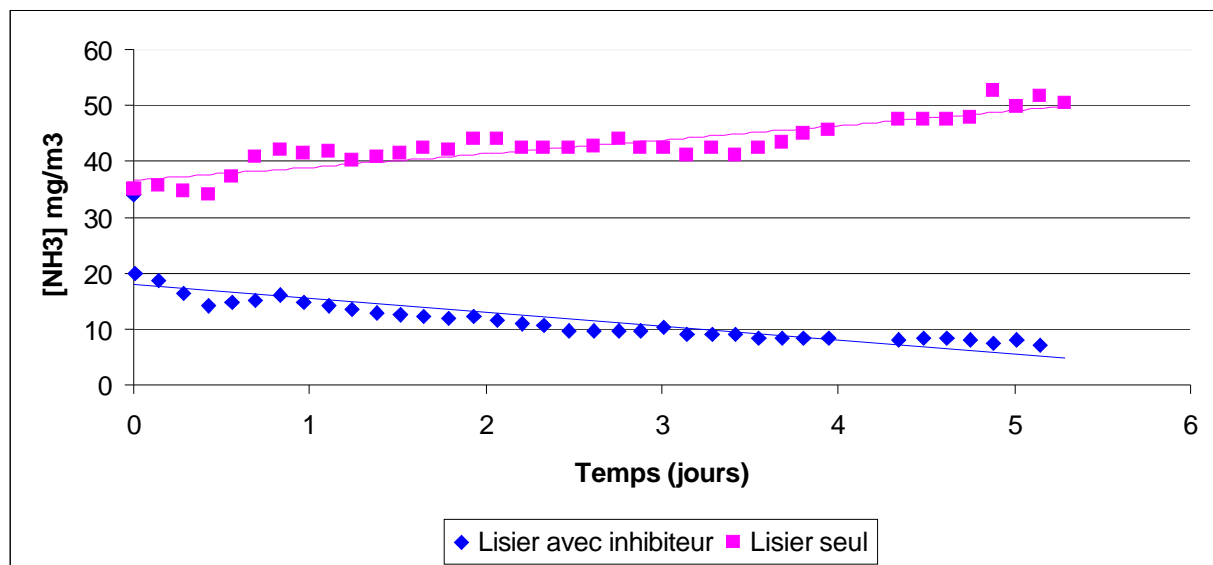


Figure 17 Comparaison des concentrations d'ammoniac du lisier seul et du lisier avec inhibiteur bactérien

L'inhibiteur microbien limite immédiatement l'émission de NH_3 en comparaison au lisier témoin. Cette concentration diminue ensuite progressivement pendant les jours suivants.

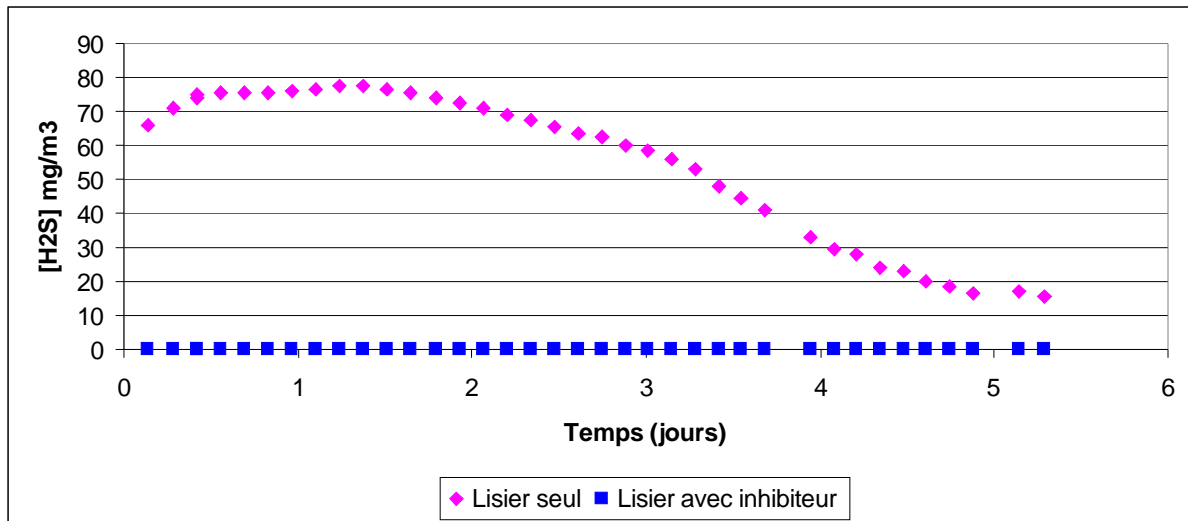


Figure 18 Comparaison des concentrations d'hydrogène sulfuré entre le lisier témoin et le lisier avec inhibiteur bactérien

L'effet de l'inhibiteur microbien est plus marqué pour l'H₂S. En effet, l'ajout de l'inhibiteur dans le lisier supprime immédiatement l'émission d'H₂S par comparaison avec le lisier témoin.

Les résultats des analyses olfactométriques obtenus sur du lisier contenant l'inhibiteur microbien sont présentés dans le Tableau 13.

Tableau 13 Résultats olfactométriques du lisier témoin avec inhibiteur microbien

	Lisier témoin	Lisier + bactéricide
Temps (jours)	0	0
Concentration d'odeur	3028	382
Caractère hédonique	-2.9	-1.2
Gêne %	50	25
Intensité odorante	forte	faible

L'analyse olfactométrique semble en adéquation avec les résultats des émissions gazeuses. En effet, tous les paramètres d'analyse olfactométrique indiquent une réduction d'odeur pour le lisier avec l'inhibiteur. De même, les mesures de concentration de gaz indiquent une diminution des émissions.

4.4 Application de la méthode à des produits à action biologique

Un lisier additionné de produits commerciaux nommés A et D a fait l'objet d'un suivi dans le temps. Ces produits sont à action biologique prétendue à court terme. Selon la chronologie des essais et l'avancement du projet, certains produits ont été testés sur le montage en mode manuel pendant plusieurs semaines ou en mode automatique sur plusieurs jours.

4.4.1 Produit A

La Figure 19 représente le suivi de l'émission de NH_3 au cours du temps en mode manuel pour le lisier témoin et un lisier contenant le produit A.

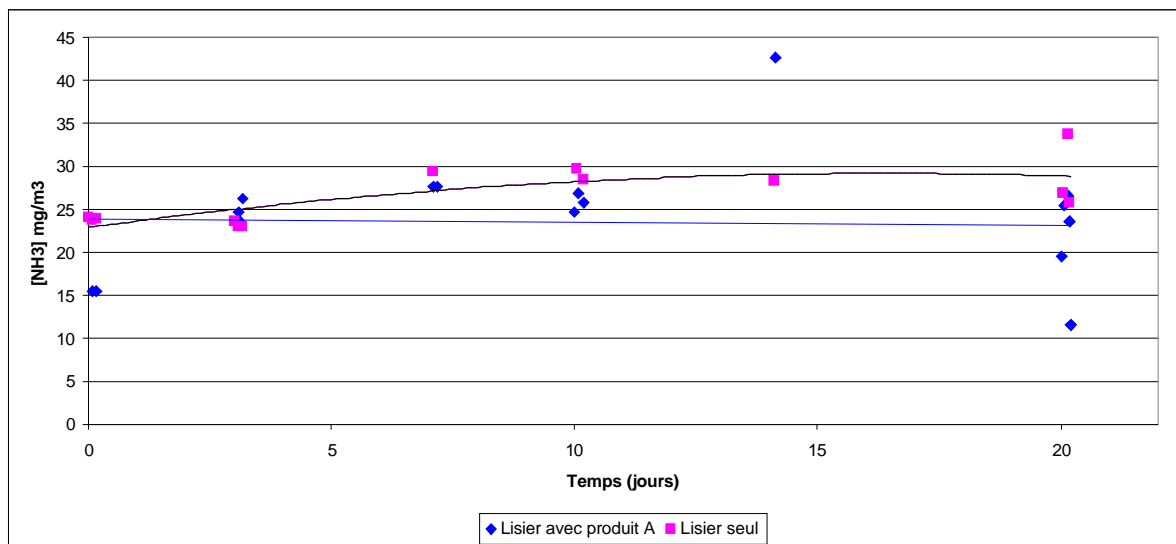


Figure 19 Evolution de la concentration d'ammoniac au cours du temps pour le lisier contenant le produit A et le lisier témoin

La Figure 20 représente le suivi de l'émission de H_2S au cours du temps en mode manuel pour le lisier témoin et un lisier contenant le produit A.

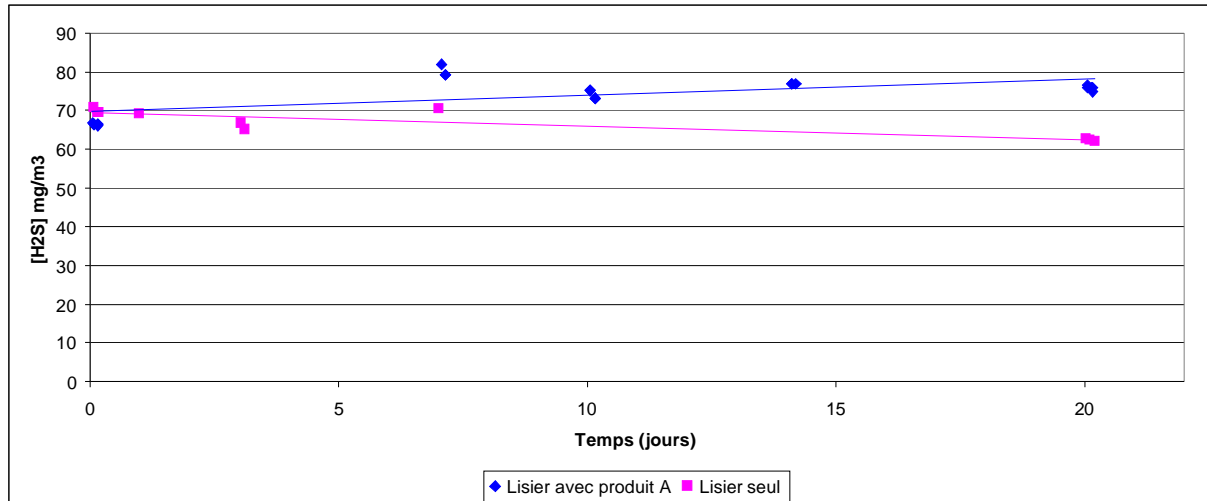


Figure 20 Comparaison de l'évolution de la concentration d'hydrogène sulfuré entre le lisier contenant le produit A et le lisier témoin au cours du temps

Dans les conditions de l'essai, il n'a pas été mesuré de différence significative (incertitude estimée de l'ordre de 20%) des concentrations en NH₃ et H₂S entre le lisier témoin et le lisier contenant le produit A.

4.4.2 Produit D

La Figure 21 représente le suivi de l'émission de NH₃ au cours du temps en mode automatique pour le lisier témoin et un lisier contenant le produit D.

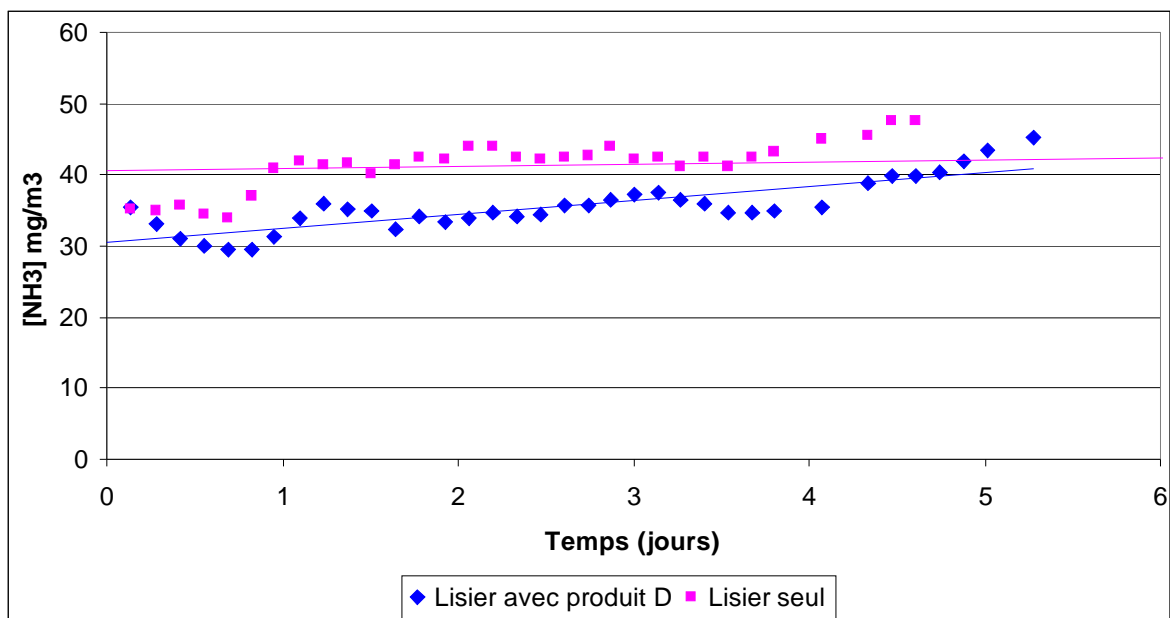


Figure 21 Comparaison de l'évolution de la concentration d'ammoniac entre le lisier contenant le produit D et le lisier témoin au cours du temps

La Figure 22 représente le suivi de l'émission de H₂S au cours du temps en mode automatique pour le lisier témoin et un lisier contenant le produit D.

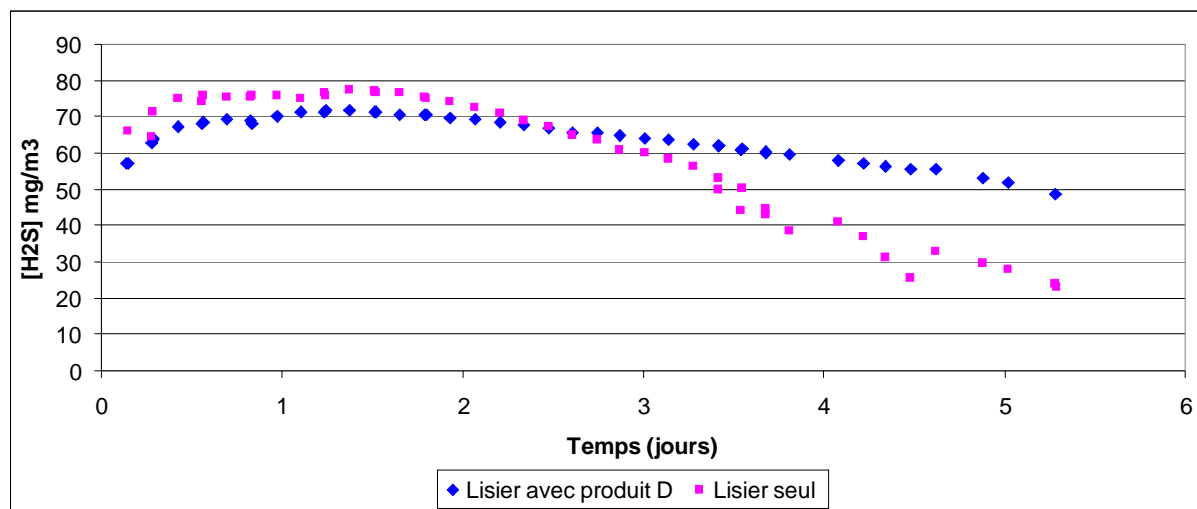


Figure 22 Comparaison de l'évolution de la concentration d'hydrogène sulfuré entre le lisier contenant le produit D et le lisier témoin au cours du temps

Dans les conditions de l'essai il n'a pas été mesuré de différence significative (incertitude de l'ordre de 20%) des concentrations en NH_3 et H_2S entre le lisier témoin et le lisier contenant le produit D.

4.4.3 Analyse olfactométrique sur quatre produits à action biologique

La caractérisation olfactive des échantillons est définie selon sa concentration d'odeur, son caractère hédonique et son indice de gêne.

Tableau 14 Résultats olfactométriques des produits à action biologique

Produit	Lisier témoin		A		B		C		D
temps (jours)	0	39	15	35	15	35	8	31	8
Concentration d'odeur	3028	101	4249	7246	6471	3797	2068	47980	9537
Caractère hédonique	-2.9	-2.7	-4.9	-3.3	-3.9	-2.7	-3.4	-3.2	-3.9
Gêne %	50	61	96	64	86	57	68	58	75
Intensité odorante	forte	moyenne	forte	moyenne	forte	moyenne	forte	moyenne	forte

Les résultats dans les conditions testées, repris dans le Tableau 14, ne mettent pas en évidence une efficacité des produits à réduire l'odeur des lisiers.

Au contraire, les concentrations d'odeur relevées pour les échantillons âgés sont supérieures à celles du lisier témoin au même stade et les caractères hédoniques sont nettement négatifs même si l'intensité odorante a tendance à être moins forte.

4.5 Application de la méthode à un produit à action chimique

Un produit à action chimique supposé à court terme a été également testé sur le banc d'essais. Les courbes décrivant les émanations d' NH_3 et d' H_2S d'un lisier traité avec le produit E sont présentées sur la Figure 23 et la Figure 24.

4.5.1 Produit E

La Figure 23 représente le suivi de l'émission de NH_3 au cours du temps en mode manuel pour le lisier témoin et un lisier contenant le produit E.

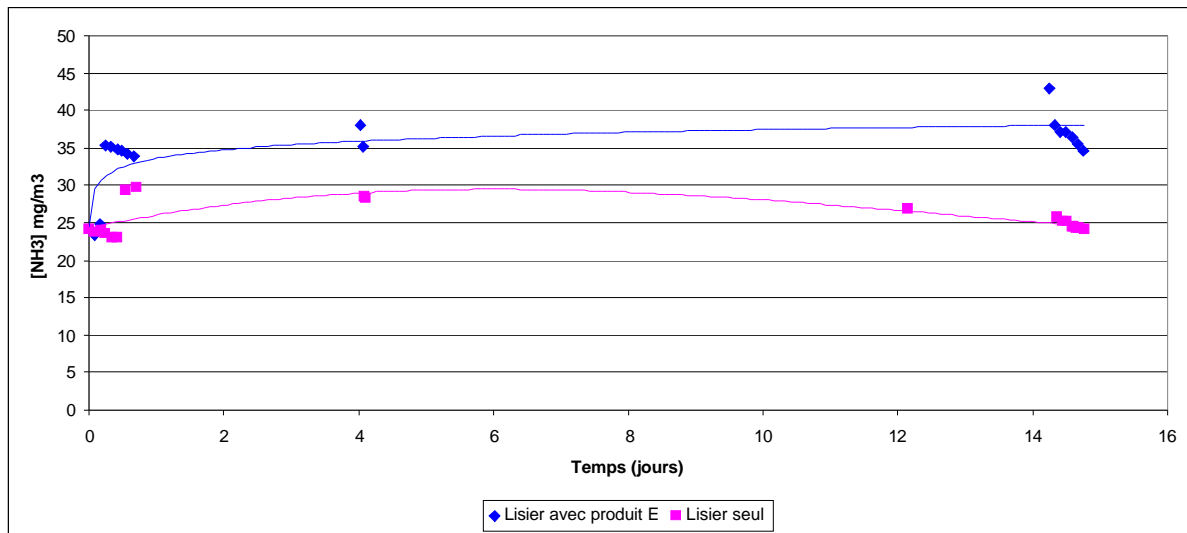


Figure 23 Comparaison de l'évolution de la concentration d'ammoniac entre le lisier contenant le produit E et le lisier témoin au cours du temps

La Figure 24 représente le suivi de l'émission de H_2S au cours du temps en mode manuel pour le lisier témoin et un lisier contenant le produit E.

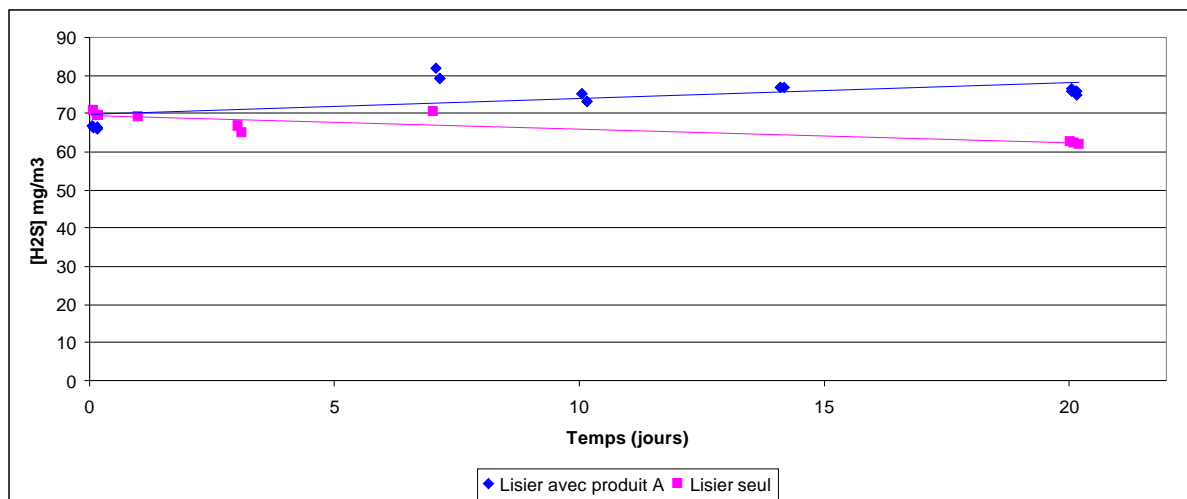


Figure 24 Comparaison de l'évolution de la concentration d'hydrogène sulfuré entre le lisier contenant le produit E et le lisier témoin au cours du temps

Dans les conditions de l'essai il n'a pas été mesuré de différence significative (incertitude estimée de l'ordre de 20%) des concentrations en NH_3 et H_2S entre le lisier témoin et le lisier contenant le produit E.

4.5.2 Efficacité olfactive perçue par le panel

Le Tableau 15 présente les résultats olfactométriques obtenus pour le produit E entre zéro et 20 jours en comparaison du lisier témoin.

Tableau 15 Résultats olfactométriques pour le produit E

Produit	Lisier témoin		E	
temps (jours)	0	20	0	12
Concentration d'odeur	3028	114	3082	20808
Caractère hédonique	-2.9	-3.3	-4	-4.1
Gêne %	50	68	75	79
Intensité odorante	forte	forte	forte	forte

Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence une efficacité du produit E dans la réduction d'odeur. Au contraire, la concentration d'odeur relevée pour l'échantillon âgé de 12 jours avec le produit E est largement supérieure à celle du lisier témoin avec un caractère hédonique nettement négatif.

4.6 Estimation des incertitudes

Les incertitudes de mesure liées à l'instrumentation ont été évaluées dans le cadre de SENTOREF I, elles sont de quelques pourcents. Les autres sources d'incertitude spécifiques au banc SENTOREF II relèvent de la génération et de l'entraînement des gaz (balayage, dilution par mélange, pertes de charge dans les circuits) ainsi que du vieillissement du lisier au cours de l'essai. Les nombreux essais effectués dans le cadre de cette étude permettent d'estimer un niveau d'incertitude de 20 % sur une mesure d'efficacité.

5. CONCLUSION

Un protocole basé sur des mesures simultanées des concentrations d'ammoniac (NH_3) et d'hydrogène sulfuré (H_2S), issues d'un lisier témoin sélectionné et du même lisier traité avec un produit commercial, permet de suivre l'évolution des émissions au cours du temps. La mise au point du banc automatisé permet de mesurer en parallèle les concentrations dans quatre réacteurs sur plusieurs semaines. L'action antibactérienne d'un inhibiteur microbien est rapidement constatée, mesurée et confirmée par l'olfactométrie. Le protocole mis en place permet donc de mesurer une évolution des émissions des gaz majeurs du lisier NH_3 et H_2S pendant une période définie et dans des conditions expérimentales fixées et maîtrisées.

Références Bibliographiques

- [1] PETERSEN S.O., AMON B., GATTINGER A. ; 2005. Methane oxidation in slurry storage surface crusts. *Journal of Environmental Quality*., 34 (2),455-461.
- [2] BELINE F. ;2001. Le traitement biologique aérobie du lisier de porc - Les transformations de l'azote et les émissions gazeuses polluantes, Antony. 134 pages.
- [3] GOULET M. ; 2005. Suivi agronomique de sous-produits fertilisants issus d'un procédé de traitement du lisier de porc. Québec : Université, Institut national de la recherche scientifique, thèse de doctorat.
- [4] ROUSSEAU P. ; 2009. Étude, modélisation et optimisation d'un procédé de traitement des lisiers de porcs par couplage de la digestion anaérobie et du traitement biologique de l'azote. Rennes : Université, thèse de doctorat.
- [5] GARCIA J.-L., PATEL B. K. C. et OLLIVIER B. ; 2000. Taxonomic, phylogenetic, and ecological diversity of methanogenic Archaea. *Anaerobe*, 6 (4), 205-226.
- [6] MILLER D.N., VAREL V.H. ; 2003. Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds. *Journal of Animal Science*., 81 (9), 2131-2138.
- [7] SPOELSTRA S. F. ; 1979. Volatile compounds in anaerobically stored piggery wastes. *Landbouwkd. Tijdschr.*, 91 (8), 227-231.
- [8] VEDRENNE F. ; 2007. Étude des processus de dégradation anaérobie et de production de méthane au cours du stockage des lisiers. Rennes : École Nationale Supérieure d'Agronomie, thèse de doctorat.
- [9] COILLARD J. ; 1997. Procédés de traitement des lisiers de porc étudiés en France. *Ingénieries-EAT.*, 10, 17-33.
- [10] LEVASSEUR P. ; Composition des lisiers de porcs, facteur de variation et méthodes d'évaluation, *TechnniPorc*, Vol 21, N°3, 1998
- [11] COILLARD J., Avenir et perspectives de recherches sur les techniques de traitement des lisiers de porc. Point technique et économique sur les principaux procédés de traitement des lisiers de porc en France. Actes du colloque « Comment concilier production porcine et protection de l'environnement ». Paris, 131-165, 1999. France : CEMAGREF Ed.
- [12] NICKS B. ; 1999. Facteurs influençant les émissions d'ammoniac en porcherie. *AgriBETON.*, 2 (1), 12–14.
- [13] LEVASSEUR P. ; Composition des lisiers de porcs, facteur de variation et méthodes d'évaluation, *TechnniPorc*, Vol 21, N°4, 1998
- [14] SALANITRO J.P., Blake I.G., MUIRHEAD P.A. ; 1977. Isolation and identification of fecal bacteria from adult swine. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33(1), 79-84.
- [15] LAFERRIERE M. ; 1996. L'industrie porcine et les risques liés à la santé humaine. *Vecteur Environnement* 29(3), 27-31.
- [16] DABERT P., BRUGERE H., PEU P., KEROUREDAN M., POURCHER A.M., DELGENES J.P., GODON J.J. ; 2004. Suivi de la communauté microbienne d'un lisier de porc le long d'une filière d'élevage, approches moléculaire et culturale. *Journées Recherche porcine en France*. 36, 77-82.

- [17] CORPEN ; 1996. Estimation des rejets d'azote et de phosphore des élevages de porcs. 23 p.
- [18] 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. 41p
- [19] BOURSIER, H. ; 2003 Étude et modélisation des processus biologiques au cours du traitement aérobie du lisier de porcs en vue d'une optimisation du procédé. INSA Toulouse, France, thèse de doctorat.
- [20] TEXIER, C. ; 1999. Les litières biomaitrisées en porcherie. Comment concilier production porcine et protection de l'environnement. CEMAGREF ed. Paris.
- [21] LEVASSEUR P. ; Facteurs de variation du niveau des rejets et du volume de lisier produit par le porc, TechnniPorc, Vol 21, N°5, 1998
- [22] DOURMAD J.Y., HENRY Y. ; 1994. Influence de l'alimentation et des performances sur les rejets azotés du porc. INRA Prod. Anim., 7, 263-274.
- [23] VOERMANS J.A.M., VERDOES N., HARTOG L.A., DEN.; 1994. Environmental impact of pig farming. Pig news and Information.,15(2), 51-54.
- [24] FIEDLER E. ; 1982. Versuchs und Erfahrungsbericht. Landesanstalt für Schweinzucht Forchheim, 72-75.
- [25] PIGEON S. ; 2004. Les odeurs, les comprendre pour mieux les contrôler. Journée d'information provinciale « Les odeurs et la production porcine : les solutions accessibles ». Drummondville, 27 janvier 2004.
- [26] GUINGAND N., GRANIER R., MASSABIE P. ; 1997. Characterization of air extracted from pig housing: effects of the presence of slurry and the ventilation rate. In VOERMANS J.A.M, MONTENY G.J.. Ammonia and odour control from animal production facilities. Proceedings of the international symposium. Vinkerloord, October 6–10, 1997.
- [27] POPESCU M., BLANCHART J.M., CARRE J. ; 1998. Analyse et traitement physico-chimique des rejets atmosphériques industriels, émissions, fumées, odeurs et poussières. Lyon: INSA; Paris: Lavoisier, 854 p.
- [28] MARTIN G., NEVEU C., ROBIN I., LEMASLE M., MORCEL P., BELLI FILHO P. ; 1993. Journées de la Recherche Porcine en France. 25, 273-277.
- [29] BELLI FILHO P. ; 1995. Stockage et odeurs des déjections animales - cas du lisier de porc. Rennes : Université, thèse de Doctorat.
- [30] CHOINIÈRE D. ; 2006. Élaboration et validation d'un protocole d'évaluation des additifs visant à réduire les odeurs de lisiers de porcs, fédération des producteurs de porcs du Québec.
- [31] LNE ; 1996. Rapport d'essai, dossier G120115.
- [32] DEGRE A., VERHEVE D., DEBOUCHE C. ; 2001. Émissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction: revue bibliographique. Biotechnol. Agron. Soc. Environ,
- [33] NICOLAS J., COBUT P. ; 2006. Etude de l'effet des produits neutralisants de l'odeur dans une porcherie. Rapport final d'Etude Filière Porcine Wallone, Université de Liège.
- [34] ADAM K. ; 2005. Produits de désodorisation, étude bibliographique-protocoles d'évaluation de leur efficacité. INERIS-DRC-05-55897-AIRE n°616-Kad.
- [35] KI YOUNG KIM, HAN JONG KO HYEON TAE KIM, YOON SHIN KIM, YOUNG MAN ROH, CHEOL MIN LEE, CHI NYON KIM ; 2008a. Quantification of ammonia and hydrogen sulphide emitted from pig buildings in Korea. Journal of environmental management, 88(2), 195-202.
- [36] KI YOUNG KIM, HAN JONG KO HYEON TAE KIM, YOON SHIN KIM, YOUNG MAN ROH, CHEOL MIN LEE, CHI NYON KIM ; 2008b. Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives. Bioresource Technology, 99(17), 8464-8469.
- [37] MASSABIE P., GRANIER R., GUINGAND N. ; 1999. Incidence du système d'extraction et du débit de renouvellement d'air en porcherie d'engraissement sur les concentrations en ammoniac et les performances des animaux. Journée de la recherche porcine en France, 31, 139-144.

- [38] GUINGAND.N, Stockage et épandage du lisier : Impact sur la qualité de l'air en porcherie et sur l'environnement, Techniporc, vol 21 n°2, 1998.
- [39] MASSE D., CROTEAU F., MASSE L., LAVOIE J. ; 2004. Evaluation de l'impact des additifs de lisier sur l'exposition des travailleurs et l'atténuation des odeurs. Rapport d'étude de la Fédération des producteurs de porcs du Québec.
- [40] GOY C. ; 1995. Odeur à l'épandage de lisier-produits chimiques de désodorisation. Stratégie de validation de formulation. Rennes : Université, thèse de Doctorat.
- [41] KI YOUNG KIM, HAN JONG KO HYEON TAE KIM, YOON SHIN KIM, YOUNG MAN ROH, CHEOL MIN LEE, CHI NYON KIM ; 2007. Sulfuric odorous compounds emitted from pig feeding operations. Atmospheric Environment, 41, 4811-4818.
- [42] HOBBS P.J., MISSELBROOK T.H., PAIN F.P. ; 1998. Emission rates of odorous compounds from pig slurries. J. Sci. Food Agric., 77, 341-348.
- [43] ZHOU X., ZHANG Q. ; 2003. Measurement of odour and hydrogen sulfide emissions from swine barns. Canadian Biosystems Engineering, 45, 6.13-6.18.
- [44] GUINGAND N. ; 1998. Stockage et épandage du lisier : impact sur la qualité de l'air en porcheries et sur l'environnement. Techni porc, 21, n°2, 19-25.
- [45] GROENESTEIN C.M. Ammonia emission from pig houses after frequent removal of slurry with scrapers. XII World Congress on Agricultural Engineering. Milan, 543-550,1994.
- [46] ELZING A., KROODSMA W., SCHOLTENS R., UENK G.H. ; 1992. Ammoniakmetingen in een modelsysteem van een rendveestal: Theoretische beschouwing. Wageningen: IMAG-DLO rapport, 92-3.
- [47] VEEKEN,H., RITMEIJER. K., SEAMAN. J., DAVIDSON. R. ; 2000. A randomized comparison of branded sodium stibogluconate and generic sodium stibogluconate for the treatment of visceral leishmaniasis under field conditions in Sudan. Tropical Medicine and International Health, 5(5), 312-317.
- [48] BAILEY. L., BOWMAN. B., BUCKLEY K., BUSH R., EILERS R.,MASSE D., PAUL JW., RODD V., SIMARD R., DE KIMPE C. ; 1998. Stratégie de recherche sur la gestion du lisier de porcs au Canada.
- [49] ROBERT C., WEAST Ph.D. ; 1977. Handbook of chemistry and physics. 58th edition. Boca Raton, USA: CRC Press.
- [50] SCHULTE D.D. ; 1997. Critical parameters for emissions. In VOERMANS J.A.M., MONTENY G.J.. Ammonia and odour control from animal production facilities. Proceedings of the international symposium. Vinkeloord, October 6–10, 1997.
- [51] CIGR - Commission Internationale de Génie Rural ; 1994. Aerial Environment in Animal Housing. Concentration in and Emissions from Farm Buildings. Working Group Report Series No. 94.1.
- [52] DEN BROK G.M. et VERDOES N. Slurry Cooling to Reduce Ammonia Emission from Pig Houses. Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities. Textes de conférence internationale. Vinkeloord, 6 - 10 Octobre 1997.
- [53] MOAL J.F., Martinez J., Guiziou F. et Coste C.M. ; 1995. Ammonia Volatilization Following Surface- Applied Pig and Cattle Slurry in France. Journal of Agricultural Science 125, 245-252.
- [54] KERMARREC C. ; 2000. Bilan et transformation de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière. Rennes : Université, thèse de Doctorat.
- [55] HARTUNG E. ; 1995. Entwicklung einer Messmethode und Grundlagenuntersuchungen zur Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmit. Dissertation, MEG Schrift 275. Hohenheim, Deutschland.
- [56] CHRISTIANSON L.L., ZHANG R.H., DAY D.L. et RIKOWSKI G.L. ; 1993. Effects of Building Design, Climate Control, Housing System, Animal Behaviour and Manure Management at Farm Levels on N-losses to the Air. Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, 271-279.

- [57] BELLI FILHO P., MARTIN G. ; 1996. Procédé de réduction des odeurs d'un lisier stocké en fosse couverte. Journées de la recherche porcine en France, 28, 225-230.
- [58] POULIOT F., LEMAY S.. Le contrôle des odeurs en bâtiment. Journée d'information provinciale « Les odeurs et la production porcine : les solutions accessibles ». Drummondville, 27 janvier 2004.
- [59] MACKIE R.I., STROOT P.J., VAREL V.H. ; 1998. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. J Anim Sci 76, 1331-1342.
- [60] CLANTON C.J., SCHMIDT D.R. ; 2000. Sulfur compounds in gases emitted from stored manure. Transaction of the ASAE 43(3), 1229-1239.
- [61] BEAUDET P., 1996. Évaluation des éléments fertilisants des engrais de ferme. Compte rendu de recherche en science du sol. Agrosol., 9 (1), 5-13.
- [62] BERNARD C.R., HEDUIT M. ; 1979. Évolution du lisier de porcs au cours du stockage. Journées Rech Porcine en France: 177-184.
- [63] BERNARD F. INC. ; 1994. Mise au point de techniques de caractérisation standardisées pour les déjections animales. Rapport de synthèse, 92 p. Ministère de l'environnement et de la faune du Québec.
- [64] PETERS J., COMBS S., HOSKINS B., JARMAN J., KOVAR M., WATSON A., WOLF, N. ; 2003. Recommended methods of manure analysis. University of Wisconsin-Extension, U.S. Department of agriculture and Wisconsin counties cooperating. Cooperative Extension Publishing., 1-57.
- [65] LEVASSEUR P., BOULESTREAU-BOULAY A.L., DOURMAD J.Y., ETIENNE P., LAGADEC S., Bertrand LE BRIS B. ; 2009. Vitesse de sédimentation de la matière sèche, de l'azote, du phosphore et du potassium des lisiers de porcs. Journées Rech. Porcine, 41, 1-x.
- [66] LEVASSEUR P. ; Échantillonnage et méthodes d'évaluation de la composition des lisiers de porcs. TechnniPorc, Vol 21, N°6, 1998
- [67] VAN DER HOECK, K.W.; 1977. Sampling Techniques for liquid swine Manure. Utilization of Manure by Landspreading., 561-569.
- [68] GARRY P. ; 2002. La congélation des produits modifie-t-elle les résultats d'analyses microbiologiques. Bulletin de liaison du CTSCCV., 12 (3), 3-14.
- [69] DENIS C., BEAL C., BOUIX M., CHAMBA J.F., JAMET E., OGIER J.C., PANOFF J.M., RAULT A., THAMMAVONGS B., THIERRY A. ; 2006. Congélation de micro-organismes d'intérêt laitier : optimisation des conditions d'adaptation des souches avant congélation et des conditions de remise en culture après congélation. Actes du BRG, 6, 433-448.
- [70] BRANGER A., RICHER M.M., ROUSTEL S. ; 2007. Microbiochimie et alimentation. Educagri Editions, Dijon

Chapitre IV. ANNEXES

Annexe 1. Conduite d'élevage pour la production du lisier de référence utilisé dans l'étude

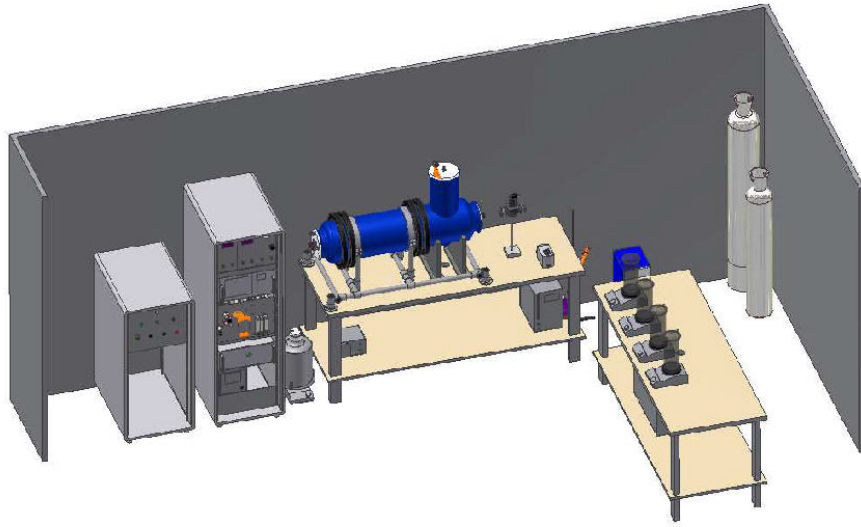
Les porcs :

- Race des porcs : croisement large white x landrace
- Age des porcs à l'entrée en salle d'engraissement : 9 semaines
- Age des porcs lors du prélèvement : 20 semaines
- Age des porcs en fin d'engraissement (sortie de la salle) : porcs sortis le 17/08/10
- Poids des porcs à l'entrée dans la salle de prélèvement : 26 kg
- Poids des porcs lors du prélèvement : 67 kg (pesée la plus proche datant du 30/06/10)
- Poids des porcs en fin d'engraissement : 108 kg
- Sexe des porcs présents dans la salle : M+F (sexe ratio de 50%)
- Le mode d'alimentation: alimentation biphasé de type CORPEN non rationné
- La Distribution de l'eau à volonté: 800 L par porc sur toute la durée d'engraissement

La salle de prélèvement :

- Température et humidité dans la salle de prélèvement : 24°C, l'humidité est très variable mais le jour du prélèvement elle était aux alentours de 70%.
- Système de ventilation: extraction dynamique avec extraction basse
- Débit d'air : débit moyen sur l'année de 40 m³ par heure et par porc (grande variabilité selon les saisons)
- Le nombre de cases : 6
- Le nombre de porcs par case dans la salle : 10

Annexe 2. Schéma du banc final



Annexe 3. Principe des mesures olfactométriques

1. Mesure de la concentration d'odeur de l'échantillon

L'analyse des échantillons sera réalisée selon la norme NF EN 13725¹

La caractérisation d'un échantillon odorant est réalisée par la mesure du facteur de dilution au seuil de détection, dont la valeur donne directement accès à la **concentration d'odeur du gaz**.

Un jury de nez sélectionné et qualifié évalue le facteur de dilution moyen $\bar{Z}_{ITE,pan}$ qu'il faut appliquer à l'échantillon pour atteindre la valeur de la concentration d'odeur au seuil de détection du jury ($C_{od\ seuil}$), par définition égale à $1\ uO_E \cdot m^{-3}$. Cette valeur correspond au facteur de dilution auquel l'échantillon odorant a une probabilité de 50 % d'être détecté par la population.

La valeur de la concentration d'odeur de l'échantillon odorant analysé $C_{od\ éch.}$, est donnée par la relation :

$$C_{od\ éch.} (uO_E \cdot m^{-3}) = C_{od\ seuil} * \bar{Z}_{ITE,pan} = 1\ uO_E \cdot m^{-3} * \bar{Z}_{ITE,pan}$$

2. Mesure de l'intensité odorante de l'échantillon

Le protocole de mesures d'intensités odorantes est conforme au texte de la norme NF X 43-103². Cette méthode, appelée méthode des équivalences olfactives, consiste à situer l'intensité odorante de l'échantillon par rapport à une échelle de référence au n-butanol (cf. tableau 1) :

Tableau 1 : échelle de référence des solutions de n-butanol dans l'eau.

Codeur	faible		moyen		fort		très fort		
Concentration de n-butanol dans l'eau (vol/vol)	$9 \cdot 10^{-6}$	à	$5,7 \cdot 10^{-5}$	à	$3,6 \cdot 10^{-4}$	à	$2,3 \cdot 10^{-3}$	à	$1,4 \cdot 10^{-2}$

3. Évaluation du caractère/valeur hédonique de l'échantillon

La mesure du caractère hédonique d'une odeur est basée sur la norme VDI 3882³. La valeur hédonique est une valeur relative à la perception d'une odeur (d'extrêmement désagréable à extrêmement agréable). L'échelle hédonique comprend une évaluation qui va de -4 (extrêmement désagréable), en passant par 0 (neutre) jusqu'à +4 (extrêmement agréable).

4. Indice de gêne olfactive / Indice INO (Indice de Nuisance Olfactive)

Le calcul de l'INO est basé sur la formule de Köster :

$$INO_{(\%)} = 100 \times \frac{0 \times N_0 + 0 \times N_1 + 25 \times N_2 + 50 \times N_3 + 75 \times N_4 + 100 \times N_5}{N_{tot}}$$

Avec :

- N_0 le nombre de personnes ne détectant pas d'odeur
- N_1 le nombre de personnes déclarant ne pas être gêné
- N_2 le nombre de personnes déclarant être peu gêné
- N_3 le nombre de personnes déclarant être gêné
- N_4 le nombre de personnes déclarant être très gêné
- N_5 le nombre de personnes déclarant être extrêmement gêné
- N_{tot} le nombre de personnes participant à la caractérisation

Il faut cependant considérer que la valeur de l'INO indiquée pour chacun des échantillons analysés dans cette étude est purement informative et estimative.

En effet, cet indice n'est basé que sur les réponses des personnes ayant participé à la mesure de la concentration d'odeur de l'échantillon. Ce faible nombre n'est pas suffisant pour prétendre à une représentativité correcte du niveau de gêne et du caractère hédonique des échantillons.



MEDDTL

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement

92055 Paris La Défense CEDEX

Tél : +33(0)1 40 81 21 22

Rémi Fouquet : -

Courriel : Remi.FOUQUET@developpement-durable.gouv.fr



LNE

Laboratoire national de métrologie et d'essais

ZA de Trappes Élancourt – 29 avenue Roger Hennequin

78 197 Trappes CEDEX

Tél +33 (0) 1 30 69 10 00

Émilie Fernandes

Jacques Lachenal

Régis Lebossé

Dominique Oster

Courriel : sentoref@lne.fr