

Contribution de ELFE à l'établissement de facteurs d'émission d'ammoniac par les bâtiments et le stockage en élevage porcin

Aurore VIGAN (1), Nadine GUINGAND (1), Sandrine ESPAGNOL (1), Mélynda HASSOUNA (2), Solène LAGADEC (3), Laurence LOYON (4), Etienne MATHIAS (5), Thomas EGLIN (6) et Paul ROBIN (2)

(1) IFIP Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu, France

(2) INRA AgroCampus Ouest UMR SAS, 65 rue de St Brieuc, 35000 Rennes, France

(3) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, ZAC Atalante Champeaux, Rue Maurice le Lannou, 35042 Rennes, France

(4) IRSTEA, Avenue de Cucillé, 35000 Rennes, France

(5) CITEPA, 42 Rue de Paradis, 75010 Paris, France

(6) ADEME, 20 Avenue du Grésillé, 49000 Angers, France

aurore.vigan@ifip.asso.fr

Avec la collaboration de Coline BRAME, Nadège EDOUARD, Maguy EUGENE, Sophie GENERMONT, Elise LORINQUER et Paul PONCHANT

Contribution de ELFE à l'établissement de facteurs d'émission d'ammoniac par les bâtiments et le stockage en élevage porcin

Un consortium regroupant des acteurs de la recherche et du développement s'est créé afin de construire une base de données (ELFE) compilant les valeurs publiées dans la littérature internationale des facteurs d'émission d'ammoniac, gaz à effet de serre, odeurs, particules et métadonnées associées. Environ 1 000 références ont été identifiées et ont permis de fournir des FE par poste d'émission (bâtiment, stockage, traitement, épandage, pâturage) et par itinéraire technique. Les FE ont été convertis dans des unités communes afin de permettre leur comparaison par espèce animale et par poste d'émission. Des moyennes de FE associées à leurs écarts-types sont ensuite calculées pour un ensemble d'itinéraires techniques définis par filière. L'analyse permet également d'évaluer l'incidence de la mise en place de pratiques de réduction et de préciser l'influence des métadonnées sur les niveaux d'émissions. Cette synthèse illustre la valorisation de la base de données dans le cas des émissions d'ammoniac des élevages porcins au niveau des postes bâtiment et stockage. Les émissions d'ammoniac en élevage standard pour les porcs en engraissement s'élèvent pour le bâtiment à $3,93 \pm 1,69 \text{ kg NH}_3 \cdot \text{place}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ et pour le stockage à $11,9 \pm 11,0 \% \text{ N}$ stocké. Bien que ces moyennes de NH_3 soient cohérentes avec les valeurs des documents officiels de référence (BREF, EMEP, UNECE), les écart-types associés valident l'intérêt d'intégrer les métadonnées pour identifier de nouveaux paramètres de variation. Enfin, cette étude permet de dresser un bilan des informations nécessaires à l'utilisation des données de la littérature. Ces informations sont ensuite comparées à celles réellement trouvées dans les publications consultées ce qui dévoile un manque d'information conséquent conduisant à l'exclusion de nombreuses données ne pouvant pas être analysées.

ELFE contribution to the development of ammonia emission factors from building and manure storage in pig production

A consortium involving research and extension services partners was created to develop a database (ELFE) gathering international literature references on gaseous emissions in pork, poultry and ruminants productions and related metadata. Around 1 000 publications were recorded and provided emission factors according to processing steps in manure management (i.e. indoor and outdoor storage, treatment, spreading and pasture) in different technical itineraries. EF were converted to allow their comparison by animal production and manure step management. Average EF and their standard deviation were calculated per technical itinerary and EF-variability due to metadata and mitigation practices were analyzed. Technical itineraries were previously defined for each animal production and depending on the emission source. The first ammonia emission results in pig production during indoor and outside manure storage phases are presented and commented in this paper. In a standard configuration of pig farm, the calculated average NH_3 emission is $3,93 \pm 1,69 \text{ kg NH}_3 \cdot \text{animal place}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ from building and $11,9 \pm 11,0 \% \text{ N}$ stored from outside storage. These results are consistent with official reference documents values on gaseous emissions (BREF, EMEP, UNECE) but standard deviation associated to average values illustrate the importance of meta data in the determination of variation factors. Finally, this paper lists the information that remains necessary to analyze literature data. This list is then compared to information really found in the collected publications. This approach shows an important lack of data in a lot of the publications leading to emission values which could not be analyzed in this project.

INTRODUCTION

L'ammoniac (NH_3) est un polluant atmosphérique qui participe à la formation de particules et contribue à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux. En France, l'agriculture est responsable de 98 % des émissions de NH_3 dont 65 % liés à l'élevage (CITEPA, 2017). La production porcine contribue à hauteur de 10 % à ces émissions du secteur de l'élevage. A l'échelle internationale, différents dispositifs réglementaires ont été développés afin de réduire les émissions atmosphériques. La Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance et le Protocole de Göteborg sont les premiers textes internationaux visant à réduire les émissions atmosphériques. Au niveau européen, la directive NEC (National Emission Ceiling) fixe des plafonds d'émissions par état membre alors que la directive IED (Industrial Emission Directive) liste les techniques à mettre en œuvre pour réduire ces émissions dans certains secteurs d'activité, dont l'élevage de porcs et de volailles.

Afin de répondre aux préoccupations environnementales et aux exigences réglementaires, de nombreuses recherches sont menées sur la caractérisation des émissions de NH_3 ainsi que sur le développement de techniques de réduction. Cependant, la grande diversité de pratiques d'élevage ainsi que la diversité des méthodes de mesure induisent des niveaux d'émissions variables et en complexifient ainsi la représentation. Les niveaux d'émissions actuellement utilisés dans les inventaires ne sont donc pas toujours représentatifs des systèmes d'élevages qu'ils sont censés désigner. En cela, une caractérisation plus fine des systèmes d'élevage est requise. Celle-ci doit permettre d'intégrer la grande diversité des pratiques.

Dans ce contexte, un consortium regroupant des acteurs de la recherche et du développement s'est créé afin d'analyser les systèmes d'Élevage et les Facteurs d'Émission associés (projet ELFE). Le projet consiste à développer une base de données permettant de compiler l'ensemble des valeurs publiées dans la littérature nationale et internationale concernant les émissions gazeuses liées à l'élevage (NH_3 , N_2O , CH_4 , CO_2 , H_2S , NO_x , COV , odeurs et particules), ainsi que les métadonnées associées à ces émissions. L'objectif final de la base de données ELFE consiste à établir des facteurs d'émissions (FE) correspondant à la diversité des situations d'élevage rencontrées sur le terrain et au plus proche de la réalité technique. Le projet couvre trois productions animales importantes (avicole, herbivore et porcine) ainsi que l'ensemble de la chaîne d'élevage des animaux et de gestion des effluents (bâtiment, pâturage, stockage, épandage et traitement). Dans cet article, les résultats présentés ne concernent que les émissions de NH_3 liées à l'élevage porcin, au niveau du bâtiment et du stockage extérieur des effluents. Dans le cas d'une gestion en système lisier avec stockage des effluents sous les animaux pendant leur présence, puis évacuation en fosse de stockage extérieure non couverte et enfin, avec épandage ultérieur ; les émissions de NH_3 par le bâtiment représentent environ 60 % des émissions de l'ensemble de la chaîne de gestion des effluents et le stockage extérieur environ 10 % (Espagnol *et al.*, 2015).

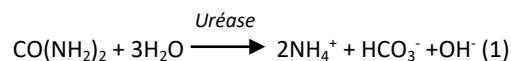
Après une présentation succincte des processus de production de NH_3 , les principaux éléments méthodologiques du projet ELFE sont décrits. Ensuite, les premiers résultats issus de l'analyse des données compilées dans la base ELFE sont présentés et comparés aux valeurs de différents documents officiels de référence sur les facteurs d'émissions de NH_3 (BREF,

EMEP, UNECE). Les valeurs rapportées dans ces documents n'ont pas été intégrées dans la base ELFE puisqu'elles correspondent également à des moyennes calculées dans le cadre d'un travail de synthèse. Elles peuvent donc servir de support de comparaison. Ensuite, l'efficacité des principales techniques de réduction des émissions applicables au bâtiment et au stockage sera discutée à partir des premiers éléments liés à l'exploration globale de la base ELFE. La partie suivante présentera les principaux facteurs de variation des émissions de NH_3 mis en évidence dans des publications dont les expérimentations étaient dédiées à leur évaluation. Ces publications sont intégrées dans la base de données ELFE. Une analyse visera à vérifier si ces facteurs apparaissent à l'échelle de la base, ce qui attesterait d'une bonne complétude des données saisies. Enfin, la dernière partie de l'article présentera d'une part, un bilan des informations nécessaires à l'utilisation des données des publications et d'autre part, les informations réellement trouvées dans les publications consultées. L'objectif de ce travail de comparaison entre les données requises pour analyser les FE et les informations réellement précisées dans les publications est de proposer des recommandations aux auteurs sur les informations à intégrer dans les publications.

1. PRODUCTION D'AMMONIAC

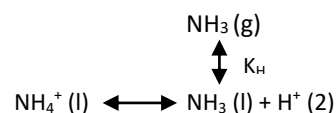
Cette première partie rappelle les mécanismes connus sur les processus de production du NH_3 , qui permettront ensuite d'introduire les paramètres clés des variations d'émissions, en relation avec les observations de terrain. La production de NH_3 est le résultat de trois processus successifs que sont l'uréolyse, la dissociation et la volatilisation.

- *Uréolyse* : Il s'agit de l'hydrolyse de l'urée, présente dans les urines, par l'uréase, enzyme présente dans les fèces et dans l'environnement. Elle aboutit à la production d'ions ammonium (NH_4^+ , Cortus *et al.*, 2008) - Equation (1)



L'activité de l'uréase peut être influencée par la température (Braam *et al.*, 1997 ; Sommer *et al.*, 2006), par le pH avec un optimum entre 6 et 9, par la concentration en uréase (Braam *et al.*, 1997) ainsi que par la teneur en eau des effluents avec un optimum entre 40 et 60 % (Groot Koerkamp, 1994).

- *Dissociation* : En phase liquide (l), l'azote ammoniacal total (TAN) est en équilibre entre les formes ionisée (NH_4^+) et non-ionisée (NH_3) - Equation (2)



La température, ainsi que le pH de l'effluent, influent sur cet équilibre : une augmentation de la température favorise la concentration en NH_3 par la dissociation ; le coefficient de dissociation K_a se définit ainsi :

$$K_a = \frac{[\text{NH}_3] \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

L'influence du pH est également importante : sous des pH inférieurs à 7, l'intégralité de l'azote ammoniacal reste sous sa forme ionique. Pour des pH supérieurs à 7, la forme non-ionisée NH_3 augmente et pour une valeur de 11 ou au-delà, l'azote ammoniacal se trouve principalement sous la forme de NH_3 .

- *Volatilisation* : Le passage de la forme liquide $\text{NH}_3(\text{l})$ à sa forme gazeuse $\text{NH}_3(\text{g})$ est contrôlé par la loi de Henry (K_H) comme le montre l'équation (2).

La pression partielle de NH₃ (g) est proportionnelle à la concentration en NH₃ (l) (Groot Koerkamp *et al.*, 1998). L'équilibre entre NH₃ (l) et NH₃ (g) est directement influencé par la température, mais aussi par la vitesse d'air et la surface d'émission (Monteny et Erisman, 1998).

Le transfert de NH₃ (g) du lisier à l'atmosphère dépend de l'équation suivante - Equation (3) :

$$NH_3 = (1/(r_1 + r_2 + \dots + r_n)) \times A \times (NH_{3,G} - NH_{3,A}) \quad (3)$$

Avec A = Surface d'émission ; r₁ - r_n = Résistance du transport du NH₃ depuis la surface vers l'atmosphère ; NH_{3,G} = Concentration atmosphérique de NH₃ au niveau de la couche de surface et NH_{3,A} = Concentration ambiante atmosphérique.

En incluant un coefficient de transfert (K_t) correspondant à la somme des résistances comme le proposent Arogo *et al.* (1999) et Xue *et al.* (1999), l'équation peut ainsi s'écrire de la manière suivante - Equation (4) :

$$NH_3 = K_t \times A \times (NH_{3,G} - NH_{3,A}) \quad (4)$$

Avec K_t = 1/(r₁ + r₂ + ... + r_n) et qui correspond au coefficient de transfert.

2. RESULTATS DES DONNEES ELFE ET COMPARAISON A DES VALEURS DE REFERENCE

2.1. Construction des FE de la base ELFE

La base de données ELFE a été créée sous Excel® et est structurée par poste d'émission. Pour les émissions par le bâtiment, la base est également organisée par production animale (avicole, herbivore ou porcine), alors que le poste stockage regroupe les émissions des trois productions confondues. La base est organisée en blocs thématiques pour les paramètres à renseigner (conditions climatiques, caractérisation du système d'élevage, métrologie, etc.). La structure de la base est relativement complexe puisqu'elle a été créée de façon à couvrir de manière précise la diversité des systèmes d'élevage. Elle rassemble donc 676 et 265 paramètres à renseigner, respectivement pour les bâtiments et le stockage. La base ELFE est présentée de manière détaillée par Vigan *et al.* (2017). La collecte des références bibliographiques dont les facteurs d'émission sont renseignés dans la base ELFE a été réalisée en deux étapes : dans un premier temps, les acteurs du RMT Elevage et Environnement ont mutualisé l'ensemble de leurs références puis cette liste de références a été actualisée (cf. Web of Science). Environ 1 000 références bibliographiques nationales et internationales ont été ainsi collectées dont près de la moitié ont été renseignées dans la base ELFE. Ces références se présentent sous différents supports ; articles de revues scientifiques, actes de colloque, articles techniques ou encore rapports d'études. Le seul critère de sélection des références a porté sur la présence de données d'émissions liées à une des trois productions animales ciblées par le projet ELFE. Par ailleurs, les données rapportées dans des travaux de synthèse n'ont pas été intégrées pour ne pas comptabiliser deux fois une même donnée (indépendamment puis dans une moyenne, par exemple). A ce jour, sur 1 754 FE saisis dans la base ELFE pour le poste bâtiment en production porcine, 832 FE concernent le NH₃ (soit, 47 %) et sont issus de 142 publications. Pour le stockage d'effluents porcins, le nombre de FE s'élève à 1 058 dont 417 pour le NH₃ (39 %), collectés à partir de 59 publications. De nombreuses unités d'expression ont ainsi été rencontrées au cours de cette recherche. Afin de permettre la comparaison des FE entre eux, trois unités de référence des émissions au bâtiment ont été définies dans le cadre du projet :

- **g N-NH₃.LU⁻¹.jour⁻¹** (avec LU (Livestock Unit) = 500 kg de poids vif). Cette unité permet de comparer les émissions entre espèces animales et stades de production ;
- **% N excrété**. Cette unité permet de représenter le cumul des pertes de N associées à chaque poste ;
- **kg N-NH₃.place⁻¹.an⁻¹**. Cette unité permet la comparaison avec certaines références réglementaires comme le BREF.

De la même manière, trois unités ont été retenues pour le poste stockage :

- **g N-NH₃.m⁻².jour⁻¹**. Il s'agit de l'unité d'expression majoritairement utilisée dans les publications ;
- **% N stocké**. Cette unité permet de représenter le cumul des pertes de N associées à chaque poste ;
- **g N-NH₃.m⁻³.jour⁻¹**. Cette unité a été choisie de manière plus spécifique au poste et à la production.

Dans cet article, une seule unité fonctionnelle par poste a été retenue pour présenter et comparer les émissions : pour le bâtiment, l'unité choisie correspond au kg de NH₃.place⁻¹.an⁻¹. Cette unité d'expression représente l'unité réglementaire de référence. Au stockage, à défaut d'unité réglementaire de référence, les données d'émissions ont été converties en % de N stocké afin de représenter le cumul des pertes de N sur la période de stockage étudiée. Par ailleurs, il est important de préciser que les valeurs utilisées pour calculer les moyennes du projet ELFE correspondent à la totalité des données référencées et couvrent donc une échelle internationale.

2.2. Comparaison dans le cas d'un itinéraire standard

Cette partie présente les moyennes des FE calculés dans ELFE en comparaison aux valeurs rapportées dans des documents officiels de référence sur les émissions de NH₃.

- Dans le cadre de l'**UNECE** Task Force on Reactive Nitrogen, Bittman *et al.* (2014) proposent un bilan sur les émissions de NH₃ liées à l'élevage, l'efficacité des techniques et les stratégies de réduction de ces émissions.

- Le **BREF IRPP** (Best Available Technique Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry and Pigs) publié par Giner-Santonja *et al.* (2017) constitue un document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles (MTD) pour les élevages avicoles et porcins. Il présente les principales conclusions relatives à ces MTD et les niveaux d'émission et de consommation associés. Ces conclusions servent de référence pour la fixation des conditions d'autorisation des installations relevant des dispositions de la directive européenne sur les émissions industrielles (Directive 2010/75/UE).

- L'**EMEP** (European Monitoring and Evaluation Programme) a pour mission de surveiller et d'évaluer la pollution de l'air transfrontalière au moyen de mesures et de modèles de calcul. Ce programme fournit donc chaque année un inventaire des émissions de polluants atmosphériques. Les valeurs publiées dans ce référentiel alimentent notamment un inventaire national, réalisé chaque année par le CITEPA, l'inventaire dit OMINEA (Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France). Pour les postes bâtiment et stockage, quatre valeurs d'émission sont indiquées au total pour l'élevage porcine.

- Le **RMT Elevages et Environnement** a actualisé en 2016 les références sur les rejets des porcs, publiées en 2003 par le CORPEN (Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement). Ces nouvelles références prennent en compte les évolutions des performances et des

pratiques d'alimentation des animaux intervenues depuis 2003 ainsi que celles des connaissances scientifiques. Les références dans ce document sont déterminées par une approche de bilan en accord avec les recommandations internationales.

2.2.1. En bâtiment

Le tableau 1 compare les valeurs d'émissions pour les différentes catégories de porcs, à partir des valeurs publiées dans différents référentiels Européens (UNECE 2014 ; BREF IRPP 2017) ou internationaux (EMEP 2016).

Selon les unités d'origine utilisées dans les publications, des hypothèses de conversion ont dû être posées afin d'exprimer les FE dans l'unité fonctionnelle choisie pour les émissions au bâtiment (soit, en kg de NH₃. place⁻¹.an⁻¹). Ces hypothèses sont définies pour chaque catégorie animale et concernent la

Tableau 1 – Facteurs d'émissions d'ammoniac en bâtiment dans une configuration d'élevage « standard » (en kg NH₃. place⁻¹.an⁻¹)

Catégorie animale	UNECE 2014	EMEP 2016 ^{(1) (2)}	BREF IRPP 2017 ⁽³⁾	ELFE 2017 ⁽⁴⁾
Truies en gestation	4,20	6,45	4,00	4,56 ± 0,87 (n = 8)
Truies allaitantes	8,30		7,50	7,45 ± 1,72 (n = 8)
Porcelets en post-sevrage	0,65	2,88	0,70	0,66 ± 0,41 (n = 16)
Porcs en engraissement	3,00		3,60	3,93 ± 1,69 (n = 87)

⁽¹⁾ Les FE ont été convertis en kg NH₃. place⁻¹.an⁻¹ à partir des hypothèses suivantes : N excrété (Porc en engraissement) = 12,1 kg N excrété.place⁻¹.an⁻¹ et N excrété (Truie) = 34,5 kg N excrété.place⁻¹.an⁻¹ (Table 10.19, Chapter 10, GIEC (IPCC), 2006) ; TAN excrété = 70 % du N excrété (EMEP 2016) ; kg N-NH₃.place⁻¹.an⁻¹ = kg N-NH₃/TAN_{ex} x N_{ex} x 0,70 ; ⁽²⁾ NH₃ = N-NH₃ x 17/14 ; ⁽³⁾ Valeurs maximales proposées par le BREF IRPP pour les bâtiments existants sur caillebotis intégral (valeurs qui correspondent le mieux à l'itinéraire standard) - ⁽⁴⁾ moyenne ± écart-type et n = nombre de FE pour le calcul de la moyenne

Les valeurs présentées dans le tableau 1 montrent que les moyennes calculées à partir des données collectées dans le projet ELFE sont cohérentes avec les données des trois documents de référence. Pour les truies en gestation et les porcs en engraissement, les moyennes des données ELFE sont toutefois plus élevées que les valeurs maximales proposées par le BREF. Cependant, Bittman *et al.* (2014) rapportent également dans l'UNECE des valeurs supérieures à celles du BREF pour les deux catégories de truies. En ce qui concerne les truies allaitantes et les porcelets en post-sevrage, les moyennes ELFE se situent légèrement en deçà des valeurs maximales proposées par le BREF. Dans tous les cas, les valeurs proposées par le BREF et l'UNECE sont incluses dans les données compilées dans ELFE en prenant en compte les écarts-types associés aux valeurs moyennes issues de ELFE. La comparaison avec les données de l'EMEP est plus complexe compte tenu de la présentation de ces données (agrégation plus importante des catégories animales). Ce tableau montre également que pour les truies gestantes et allaitantes ainsi que pour les porcelets post-sevrage, peu de FE ont pu être mobilisés. En effet, la base compte initialement 115, 57 et 174 FE concernant respectivement les truies gestantes, allaitantes et porcelets en post-sevrage. L'écart avec le nombre de FE utilisés pour les moyennes du tableau 1 peut correspondre au composé étudié (la base ELFE ne concerne pas exclusivement le NH₃), à la configuration de l'élevage (systèmes sur paille par exemple) ou encore à un manque de données ne permettant pas de convertir les FE dans l'unité commune choisie (cf. 4.1.1).

2.2.2. Lors du stockage

Pour ce poste, les émissions sont spécifiées par type d'effluent stocké : effluent liquide (lisier) ou solide (fumier). Les systèmes sur lisier représentent plus de 80 % des données collectées dans ELFE, ce qui est cohérent avec leur représentation dans la population nationale ; d'après les résultats de la dernière enquête réalisée en 2008 par le SCEES (Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques), 72,5 % des systèmes

produisent exclusivement du lisier (Massabie *et al.*, 2010). Le tableau 2 présente les FE moyens obtenus dans la base ELFE, comparés aux références du CORPEN (2003) actualisées par le RMT Elevages et Environnement en 2016 (RMT Elevages et environnement, 2016) et également aux valeurs de l'EMEP (2016). La conversion des valeurs présentées dans l'EMEP vers le % de N stocké a été réalisée en se basant sur les hypothèses précisées en note du tableau 2.

Les valeurs moyennes du projet ELFE présentées dans le tableau 2 sont cohérentes avec les données des référentiels. Les valeurs d'émissions obtenues pour le stockage de fumier sont supérieures à celles du lisier. Les valeurs actualisées par le RMT en 2016 présentées ici correspondent uniquement au lisier car les données pour le fumier sont indiquées par type de litière et correspondent au total des émissions pour les postes bâtiment et stockage. Le nombre de FE utilisés pour la moyenne ne représente que 4 % des FE collectés pour les systèmes lisier et 19 % pour les systèmes fumier. L'écart avec le nombre de FE mobilisés pour les moyennes du tableau 2 correspond donc, soit au composé étudié (la base ELFE ne concerne pas exclusivement le NH₃), soit à un manque de données pour convertir les FE dans l'unité commune.

Tableau 2 – Facteurs d'émissions d'ammoniac lors du stockage (en % du N stocké)

Type effluent	RMT 2016 ⁽¹⁾	EMEP 2016	ELFE 2017
Lisier	7,0	9,8 ⁽²⁾	11,9 ± 11,0 (n = 35)
Fumier	-	14,4 ⁽³⁾	16,3 ± 7,0 (n = 13)

⁽¹⁾ Les valeurs correspondent aux pertes azotées totales ; pour le lisier les émissions de N₂O sont considérées négligeables en comparaison au NH₃ ;

⁽²⁾ TAN = 70 % de l'azote total (EMEP 2016) ; % N stocké = kg N-NH₃/TAN_{stocké} x 0,7 x 100 ; ⁽³⁾ TN = 9,4 g.kg⁻¹ et TAN = 3,0 g.kg⁻¹ – Fumier porc en engraissement (Levasseur, 2005) ; % N stocké = kg N-NH₃/TAN_{stocké} x (3/9,4) x 100

La comparaison aux valeurs des documents officiels de référence a permis de vérifier que les moyennes issues de ELFE se situent dans le même ordre de grandeur et ainsi, de valider le niveau global des émissions. Toutefois, des différences ont été relevées et méritent d'être analysées de manière plus approfondie afin d'affiner les FE utilisés dans les documents officiels de références et inciter, à terme, à ajuster ces valeurs. Par ailleurs, des écarts-types importants sont associés aux FE, témoignant d'une richesse de la base ELFE pour analyser les facteurs de variation (performances zootechniques, métrologie etc.) et également pour prendre en compte la diversité du terrain.

2.3. Comparaison dans le cas de la mise en place de pratiques de réduction

Cette partie présente les premiers éléments liés à l'exploration globale de la base. Toutes les données associées à différentes pratiques de réduction des émissions sont ainsi comparées à l'ensemble des données saisies dans la base pour un itinéraire technique comparable (excepté pour la pratique de réduction testée). Ces éléments permettent ainsi de vérifier la cohérence générale de l'ensemble des données saisies dans ELFE en s'appuyant sur des résultats liés à une situation particulière. Les résultats de cette analyse globale de la base peuvent ensuite être comparés à des références bibliographiques précises.

2.3.1. En bâtiment

Dans la base de données ELFE pour le poste Bâtiment, la catégorie animale majoritairement représentée est celle des porcs en engraissement avec 80 % des données collectées. Les résultats présentés ci-dessous concernent uniquement cette catégorie. Le tableau 3 précise, pour différentes pratiques de réduction des émissions de NH₃, les taux d'abattement calculés dans ELFE, en les comparant à ceux répertoriés dans le guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevages (BPE) (Guinand *et al.*, 2010a). Les taux d'abattement des émissions de NH₃ sont calculés par rapport à la configuration d'élevage « standard » (cf. 2.2.1). Ainsi, les FE moyens obtenus pour chaque itinéraire faisant l'objet d'une BPE ont été comparés à la moyenne d'émission de NH₃ d'un élevage en configuration « standard ».

Tableau 3 – Taux d'abattement des émissions d'ammoniac de porcs en engraissement pour différentes pratiques de réduction en bâtiment

Pratique - Bâtiment	UNECE 2014	Guide BPE 2010	ELFE 2017 ⁽¹⁾
Réduction de la durée de stockage des déjections	25 %	20 à 30 %	30 % (n = 11)
Lisier flottant	-	20 à 30 %	46 % (n = 10)
Système d'évacuation hydraulique	40 %	20 à 60 %	53 % (n = 27)
Système d'évacuation mécanique	-	40 à 50 %	72 % (n = 7)
Logement sur litière de paille	-	4 à 60 %	- 31 % (n = 60)
Logement sur litière de sciure	-	40 %	23 % (n = 15)
Lavage d'air	70 à 90 % ⁽²⁾	40 à 90 %	50 % (n = 10)
Brumisation	-	22 à 30 %	24 % (n = 13)

⁽¹⁾ n = nombre de FE pour le calcul de la moyenne correspondante à l'itinéraire technique avec une BPE ; ⁽²⁾ Lavage d'air à l'acide

Ces taux d'abattement ne correspondent donc pas à la moyenne des facteurs d'abattement calculés (ou calculables) dans chacune des publications. C'est pourquoi, le tableau 3 ne présente pas d'écarts-types associés aux moyennes.

Avec la réduction de la durée de stockage des déjections sous les animaux, la mise en place d'un système d'évacuation hydraulique (appelé flushing ou chasse d'eau) ou encore, d'un traitement de l'air par brumisation, les taux d'abattement calculés dans ELFE se situent dans les gammes annoncées dans le guide BPE. Ces résultats sont également cohérents avec ceux rapportés dans le document de référence de l'UNECE publié par Bittman *et al.* (2014) qui calculent des émissions équivalentes à 2,25 kg NH₃.place⁻¹.an⁻¹ avec une fréquence d'évacuation des déjections élevée. La moyenne obtenue pour cette pratique d'après les données de la base ELFE est de 2,77 kg NH₃.place⁻¹.an⁻¹. En ce qui concerne le système d'évacuation par flushing, Bittman *et al.* (2014) rapportent des émissions de 1,80 kg NH₃.place⁻¹.an⁻¹ contre 1,86 kg NH₃.place⁻¹.an⁻¹ dans ELFE.

D'autres techniques, comme celle du lisier flottant qui consiste à couvrir le fond de la préfosse d'un certain volume d'eau avant l'entrée des animaux, permettent de réduire d'environ 20 % les émissions de NH₃ et d'odeurs d'une porcherie d'engraissement. Cette technique agit sur la solubilisation du NH₃ dans l'eau et sur la dilution des effluents, facilitant ainsi leur évacuation (Guinand et Rugani, 2016). Pour cette technique cependant, le taux d'abattement calculé dans ELFE à partir de 10 FE est supérieur à la fourchette haute du guide (46 % contre 30 %).

Avec la mise en place du raclage en V (évacuation mécanique), et sous la condition de respecter une certaine fréquence d'évacuation des déjections, les références sur les rejets des porcs du RMT (2016) montrent une réduction des émissions azotées d'au moins 40 % en comparaison à un système standard avec stockage du lisier. Le guide BPE propose aussi une fourchette de réduction de 40 à 50 % des émissions. Or, la réduction établie à partir des données de la base ELFE représente plus de 70 % des émissions, sur la base d'une moyenne calculée à partir de 7 valeurs de FE.

Pour le logement sur litière de sciure, une réduction de 23 % par rapport au système lisier a été calculée d'après les données ELFE. Le guide BPE ainsi que Groenestein et Van Faassen (1996) rapportent une diminution de 40 %. Enfin, les données d'émissions de NH₃ collectées dans la base de données ELFE ne permettent pas de montrer l'efficacité d'un logement sur paille plutôt que sur caillebotis. En effet, un effet inverse est même obtenu, avec une augmentation des émissions pour les logements sur paille. Cette tendance contraire aux résultats rapportés dans le guide BPE peut notamment s'expliquer par le fait que les niveaux d'émission pour ce type de logement sont très variables, étant largement influencés par la quantité de litière apportée, la réduction de la quantité de paille conduisant à une augmentation des émissions de NH₃ comme l'ont démontré Guinand et Rugani (2013) ainsi que Rigolot *et al.* (2010) qui proposent des facteurs de modulation des émissions de NH₃ selon le type et la gestion des litières.

La réduction des émissions de NH₃ des bâtiments est aussi envisageable par la mise en place de techniques traitant soit, l'air ambiant (brumisation) soit, l'air extrait (lavage d'air). Le principe de la brumisation repose sur un échange air/eau : le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux entraîne une diminution de la température, associée à une solubilisation du NH₃ (Melse *et al.*, 2012) ; cette technique permet également la réduction de la concentration en particules dans l'ambiance des porcheries (Melse *et al.*, 2012). Le lavage d'air, quant à lui, du

fait de son efficacité sur les odeurs, est assez développé en élevage porcin et permet des réductions allant jusqu'à 70 % des émissions de NH₃, d'odeurs et de particules (Melse *et al.* 2009 ; Liu *et al.*, 2017). Si, en France, le lavage est plutôt de type « biologique » (lavage à l'eau, filtre colonisé par une flore auxiliaire), les pays d'Europe du Nord ont largement développé cette technique en acidifiant les eaux de lavage par addition d'acide sulfurique. La réduction du pH des eaux de lavage agit directement sur le processus de dissociation (cf. 1. Production d'ammoniac - Equation (2)). Avec la mise en place d'un système de traitement de l'air (lavage biologique à l'eau), une réduction de 50 % des émissions a été calculée en comparant les données relatives à ce type de traitement à toutes les données saisies dans la base ELFE pour le même itinéraire technique mais sans ce traitement. Ce résultat est cohérent avec les valeurs issues de la littérature française sur le lavage à l'eau (Guingand *et al.*, 2010a ; Lagadec *et al.*, 2015). Pour un lavage d'air à l'acide, Bittman *et al.* (2014) situent le taux d'abattement entre 70 et 90 % et Guingand *et al.* (2010a) à plus de 80 %. A ce jour, aucune donnée pour ce type de lavage n'a été saisie dans la base ELFE.

Excepté pour le logement sur paille, les taux d'abattement calculés à partir des données compilées dans ELFE reflètent les connaissances de la littérature sur chacune des pratiques présentées ici. En effet, même si les résultats obtenus ne se situent pas systématiquement dans les gammes présentées par Guingand *et al.* (2010a), les données de ELFE mettent en évidence l'efficacité des BPE sur la réduction des émissions de NH₃. Par ailleurs, les écarts obtenus peuvent s'expliquer notamment par la méthode de calcul des taux d'abattement comme cela est mentionné précédemment (calcul à partir des moyennes d'itinéraires et non pas à partir d'un témoin pour chaque donnée).

2.3.2. Lors du stockage

La couverture des ouvrages représente la principale pratique de réduction des émissions de NH₃ qui ont lieu au cours du stockage du lisier. Afin de comparer les taux d'abattement mesurés à partir des données compilées pour le lisier porcin dans la base de données ELFE-Stockage à ceux présentés dans le guide des BPE (Guingand *et al.*, 2010a), les couvertures ont été divisées en deux classes : les couvertures rigides et les couvertures souples. Les couvertures rigides peuvent être constituées de béton étanche, de panneaux en fibre de verre ou encore d'une toiture. Les couvertures souples peuvent être tendues, flottantes ou gonflées. Le tableau 4 ci-dessous indique pour ces deux types de couverture les taux d'abattement, selon Guingand *et al.* (2010a), en comparaison aux moyennes calculées dans ELFE. Le système de référence utilisé pour calculer les taux d'abattement correspond au stockage du même type d'effluent en ouvrage non couvert. La moyenne des FE obtenue pour les ouvrages couverts a donc été comparée à la moyenne obtenue pour les ouvrages non couverts. Le taux d'abattement ne correspond donc pas à la moyenne des facteurs d'abattement calculés (ou calculables) dans chaque publication. De ce fait, ce tableau ne présente pas d'écarts-types associés aux moyennes.

Tableau 4 – Taux d'abattement des émissions d'ammoniac pour des stockages de lisier couverts

Pratique - Stockage	Guide BPE 2010	ELFE 2017 ⁽¹⁾
Couverture rigide	70 à 90 %	88 % (n = 4)
Couverture souple	80 à 90 %	92 % (n = 10)

⁽¹⁾ n = nombre de FE pour le calcul de la moyenne des ouvrages couverts

Pour les couvertures rigides, le taux d'abattement obtenu à partir des données compilées dans ELFE correspond à la gamme de grandeur affichée dans le guide. Avec une couverture souple, le taux d'abattement obtenu dans ELFE est supérieur de 2 % à la fourchette haute du guide. Ces valeurs montrent que la réduction des émissions de NH₃ liée à l'utilisation de couverture sur les ouvrages de stockage est correctement représentée à partir des données de ELFE.

De nombreux travaux de recherche ont donc consisté à tester l'efficacité de la couverture des ouvrages de stockage sur la réduction des pertes de NH₃. Par exemple, Sommer *et al.* (1993), Portejoie *et al.* (2003) ainsi que Dinuccio *et al.* (2015) ont comparé les émissions de NH₃ à partir de différents types de couvertures différentes à un stockage de lisier porcin non couvert. Les résultats rapportés dans ces deux publications montrent que selon les types de couverture, la réduction des émissions n'est pas toujours équivalente mais que d'une manière générale, la couverture de l'ouvrage de stockage permet de diminuer les émissions de NH₃. Misselbrook *et al.* (2015) rapportent une réduction atteignant en moyenne 77 % des émissions liées au stockage de lisier de porc avec une couverture flottante. Loyon *et al.* (2016) ont également relevé des réductions des émissions de NH₃ atteignant 90 % avec une couverture souple. Le guide ne présente pas de pratiques de réduction pour les systèmes avec fumier car l'efficacité de la couverture n'a pas encore été suffisamment testée. En effet, les données compilées dans ELFE n'apportent pas d'éléments supplémentaires à ceux de Chadwick *et al.* (2002) et Hansen *et al.* (2006) qui proposent respectivement des réductions de 86 et 12 % avec la couverture des stockages de fumier.

L'analyse comparative des taux d'abattement montre que les résultats obtenus à partir de la base ELFE se situent dans le même ordre de grandeur d'efficacité que ceux du guide BPE. Cependant, les différences observées méritent d'être étudiées afin de pouvoir à terme utiliser ELFE pour suivre et actualiser ce guide des bonnes pratiques.

3. FACTEURS DE VARIATION DES EMISSIONS D'AMMONIAC

L'analyse dans ELFE des facteurs de variation des émissions de NH₃ préalablement connus et mis en évidence au travers de publications permet d'évaluer la complétude de la base de données ELFE. Cette analyse s'appuie sur certaines situations particulières dont les résultats sur les émissions de NH₃ ont déjà été démontrés dans la littérature. Cette analyse permet de considérer ces situations parmi l'ensemble des données saisies dans ELFE et non pas uniquement parmi les données témoins associées. L'effet des facteurs de variation qualitatifs tels que le type de sol par exemple n'ont pas fait l'objet d'analyses statistiques mais uniquement, de comparaison à un système de référence standard. Pour les facteurs de variation quantitatifs, l'effet sur les émissions de NH₃ a été testé à l'aide d'un modèle linéaire généralisé, fonction lm() du package « stats » réalisé sous le logiciel R version 3.3.2.

3.1.1. En bâtiment

En conditions d'élevage, les émissions de NH₃ par le bâtiment sont principalement influencées par le type de sol, la gestion des effluents, les conditions d'ambiance et la conduite alimentaire.

- *Type de sol* : En élevage porcin, trois principaux types de sol sont représentés : le caillebotis intégral (CI), le caillebotis partiel (CP) et la litière, principalement sur paille. Des études ont

comparé les niveaux d'émissions selon le type de sol. Philippe *et al.* (2007) montrent par exemple des émissions de NH₃ par des porcs en engraissement plus élevées sur litière que sur caillebotis (+ 110 %). A partir des données compilées dans ELFE pour les porcs en engraissement, les émissions de NH₃ s'élèvent à 3,93 ± 1,69 ; 2,50 ± 2,14 et 4,25 ± 2,60 kg NH₃.place⁻¹.an⁻¹ pour les systèmes en CI, CP et litière respectivement. Cependant, il existe pour chacun de ces types de sol de nombreuses spécificités qui sont à l'origine d'une grande variabilité des émissions de NH₃ au sein de chaque type, comme l'indiquent les écarts-types. En effet, l'interaction avec d'autres facteurs peut modifier les résultats obtenus pour un type de sol donné. Par exemple, Guingand *et al.* (2010b) rapportent des émissions de NH₃ équivalentes sur CP avec une température standard de 18°C et sur CI avec une température de confort de 24°C. Pour les élevages sur caillebotis, le système et la fréquence d'évacuation des déjections influencent le niveau d'émissions de NH₃ (cf. paragraphe suivant sur les systèmes d'évacuation des déjections). Pour les systèmes sur litière, Rousset *et al.* (2014) ainsi que Guingand et Rugani (2013) indiquent que la réduction de la quantité de paille provoque une augmentation des émissions de NH₃. Les données compilées dans ELFE n'ont pas encore permis de mettre en évidence ce facteur de variation.

- *Gestion des effluents* : Dans la majorité des élevages, le lisier est stocké dans une préfosse sous les animaux avec des fréquences d'évacuation vers les ouvrages de stockage extérieurs qui peuvent varier de plusieurs fois par jour à une fois par an, selon le système d'évacuation en place. Les fréquences les plus faibles sont observées avec des systèmes d'évacuation par dépression (évacuation gravitaire), alors que des évacuations quotidiennes sont plutôt le fait de systèmes hydrauliques (flushing) ou mécaniques (raclage à plat ou en V). L'impact de ces systèmes d'évacuation a fait l'objet de publications car leur mise en place est généralement associée à la mise en œuvre d'une pratique de réduction des émissions (cf. 2.3.1).

Cette fréquence d'évacuation des déjections influence les émissions de NH₃ ; une réduction des émissions de près de 20 % a été observée avec une vidange pratiquée tous les 15 jours en comparaison d'une vidange pratiquée uniquement en fin de bande (Guingand, 2000). Avec cette même fréquence de vidange, une réduction de 27 % a été mesurée à partir des données de ELFE.

- *Conditions d'ambiance* : Comme cela est mentionné précédemment (cf. 1. Production d'ammoniac), la température influe sur l'activité de l'uréase et également, sur la constante de Henry et sur le coefficient de transfert K_t ce qui impacte donc les émissions de NH₃. Cortus *et al.* (2008) ont mis en évidence cet effet en montrant l'augmentation des émissions de NH₃ avec une hausse de la température ambiante. Cette corrélation a également pu être mise en évidence à partir des résultats de ELFE pour un système sur CI avec évacuation gravitaire des effluents (P = 0,045).

- *Conduite alimentaire* : Le principal facteur de variation des émissions de NH₃ lié à la conduite alimentaire concerne la teneur en protéines (MAT - Matière Azotée Totale) des aliments. La réduction de la teneur en MAT des aliments permet de réduire la quantité de N excrété et par conséquent, les émissions de NH₃ sans impacter les performances des animaux (Lynch *et al.*, 2007 ; Lagadec *et al.*, 2016). Le *et al.* (2009) ont mis en évidence que pour chaque pourcentage de réduction de

la teneur en MAT, les émissions de NH₃ diminuaient de 9,5 %. A partir des données collectées dans ELFE pour le système d'élevage en configuration standard, un lien significatif entre le niveau d'émission et la teneur en MAT a également pu être mis en évidence (P < 0,01) avec une diminution de 4,3 % des émissions de NH₃ pour chaque pourcentage de réduction de la teneur en MAT.

3.1.2. Lors du stockage

Comme au bâtiment, les émissions de NH₃ au cours du stockage sont influencées par différents facteurs. Il s'agit principalement des conditions climatiques, de la surface d'émission, des caractéristiques physiques ainsi que de la composition chimique des effluents stockés, et enfin, de la couverture ou non de l'ouvrage de stockage.

- *Les conditions climatiques extérieures* : Misselbrook *et al.* (2015) ont mesurés les émissions de NH₃ depuis un ouvrage de stockage à différentes périodes de l'année. Les résultats de cette étude leurs ont permis de mettre en évidence l'influence significative de la température sur les émissions de NH₃. Balsari *et al.* (2007) ont également montré que la température du lisier stocké ainsi que la vitesse d'air à la surface du lisier avaient un effet significatif sur les émissions de NH₃. L'effet de l'augmentation de la température a également pu être mis en évidence à partir des données compilées dans ELFE (P = 0,022).

- *La surface d'émission* : Arogo *et al.* (2003) ont calculé des émissions de NH₃ de lisier porcin stocké en lagune et en fosse. Lorsque les émissions sont exprimées par unité de surface, les émissions depuis la lagune sont plus faibles que celles depuis un stockage en fosse. Cependant, lorsqu'elles sont exprimées en pourcentage de l'azote ammoniacal stocké, les émissions du stockage en lagune sont plus fortes.

Cela s'explique par l'importante surface d'émissions des lagunes. Malgré la relation entre la surface et le niveau d'émissions de NH₃ démontrée par Arogo *et al.* (1999) et Xue *et al.* (1999), (cf. 1. Production d'ammoniac - Equations (3) et (4)), ce facteur de variation ne s'est pas révélé être significatif avec les données du projet ELFE.

- *La composition chimique des effluents* : Velthof *et al.* (2005) ont montré l'effet de la conduite alimentaire sur la composition des effluents et sur les émissions de NH₃ associées. En effet, les teneurs des effluents en azote total (TN) et en TAN sont directement reliées à la conduite alimentaire des animaux, et plus spécifiquement, à la teneur en MAT des aliments (cf. 3.1.1). De plus, un effet de la teneur en fibre sur le pH a également été mis en évidence par Jarret *et al.* (2012). Velthof *et al.* (2005) ont ainsi mis en évidence que les émissions de NH₃ lors du stockage étaient significativement liées aux teneurs en TN et en TAN des effluents ; plus les teneurs en MAT des aliments sont élevées, plus les émissions de NH₃ seront importantes. Au-delà du lien significatif entre les émissions de NH₃ et les teneurs en MAT qui a pu être mis en évidence dans le projet ELFE (P < 0,001), les corrélations entre la composition des effluents à l'entrée du stockage (TN et TAN) et les émissions ont également été observées ; pour les FE exprimés en g N-NH₃.m⁻³.jour⁻¹, la corrélation entre les émissions de NH₃ et les teneurs en TN et en TAN des effluents est hautement significative (P < 0,001) avec des coefficients de pente de 2,80 et 3,41 respectivement pour les teneurs en TN et TAN.

- *Les caractéristiques physiques des effluents* : Comme le montrent Berg *et al.* (2006) ainsi que Dai et Blanes-Vidal (2013), l'acidification des lisiers entraîne une diminution des émissions de NH₃. En effet, Dai et Blanes-Vidal (2013) ont mesuré des

réductions de 50, 62 et 77 % pour des pH de 6,0 ; 5,8 et 5,5 respectivement. Dans ELFE, l'effet du pH sur les émissions de NH₃ n'a pas pu être mis en évidence.

- *La couverture ou non de l'ouvrage de stockage* : Les résultats obtenus dans le cadre de ELFE et présentés en 2.3.2 confirment l'effet de la couverture des ouvrages de stockage à partir des données saisies dans la base ELFE.

Ainsi, certains facteurs de variation préalablement démontrés dans la littérature ont pu être mis en évidence dans ELFE. Cela prouve la complétude de la base ainsi que sa capacité à explorer ces facteurs de variation. Cependant, d'autres facteurs reconnus dans la littérature n'ont pas pu être mis en évidence ; par exemple, l'effet du pH des effluents sur les émissions de NH₃. Cela peut être lié à un manque de données saisies dans la base ELFE, à un déséquilibre dans la nature des données saisies ou encore, à des effets croisés entre facteurs. En effet, ces analyses étant réalisées sur l'ensemble des données de la base, de nombreux paramètres sont obligatoirement pris en compte et peuvent inhiber une tendance généralement observée. Ce résultat témoigne de la nécessité de compléter la base avec davantage de FE afin de retrouver l'ensemble des facteurs de variation reconnus dans la littérature et ainsi, de garantir de la qualité et de la complétude de la base ELFE. Comme cela est indiqué précédemment, moins de la moitié des références bibliographiques collectées ont été saisies dans la base ELFE à ce jour.

4. INFORMATIONS DISPONIBLES DANS LA LITTÉRATURE

Au-delà du calcul d'émissions moyennes, le travail effectué dans le cadre du projet ELFE permet l'analyse des métadonnées renseignées dans les publications. Cette partie a donc un double objectif ; dans un premier temps, il s'agit de dresser un bilan des informations qui seraient nécessaires pour que des valeurs d'émissions publiées puissent être utilisées dans le cadre d'un travail de synthèse (tel que le projet ELFE) ; dans un second temps, de comparer ces informations attendues à celles réellement renseignées dans les publications. Les informations jugées nécessaires ont ainsi été divisées en deux catégories :

1/ les métadonnées nécessaires pour la conversion des unités d'expression des FE utilisées dans les publications vers des unités communes. En effet, afin de pouvoir comparer les FE de NH₃ publiés dans la littérature, les unités d'expression doivent être homogénéisées (selon les unités d'origine utilisées dans les publications et les unités communes choisies, les métadonnées requises ne sont pas les mêmes) ;

2/ les informations principales décrivant le système d'élevage selon le poste concerné.

4.1. Informations nécessaires pour la conversion des FE vers des unités communes de référence

4.1.1. En bâtiment

Les 832 FE saisis dans la base sont exprimés en 60 unités différentes ; dans une même publication, un FE est parfois exprimé sous plusieurs unités. Les unités d'expression les plus communément utilisées sont présentées dans la figure 1 a) (unités utilisées dans au moins 5 % des cas). Pour cette représentation, des groupes d'unités ont été créés (en regroupant par exemple sous le groupe NH₃.animal⁻¹.unité temps⁻¹, les unités exprimées en g N-NH₃.animal⁻¹.jour⁻¹, ou encore en kg NH₃.animal⁻¹.an⁻¹ etc.). La figure 1 a) montre que l'unité la plus utilisée pour exprimer les émissions de NH₃ liées

à la présence des animaux en bâtiment correspond à une quantité de NH₃ ramenée à un animal et une unité temporelle (principalement, en g NH₃.animal⁻¹.jour⁻¹).

Cette figure montre également que quatre groupes d'unités d'expression représentent à elles seules plus de la moitié des unités utilisées. La conversion dans au moins une des trois unités de référence (cf. 2.1) nécessite certaines informations propres à l'unité d'origine et à l'unité de référence. La figure 2 a) illustre le processus de conversion des 60 unités d'expression d'origine utilisées dans la littérature (chaque pourcentage affiché dans cette figure correspond au pourcentage de données converties par rapport au nombre de données initial). Deux méthodes de conversion ont été développées en utilisant les données renseignées dans les publications. La première méthode consiste à convertir l'ensemble des unités d'expression utilisées dans la littérature en une quantité totale de NH₃ avant de rapporter cette quantité à une des trois unités de référence. Comme le montre la figure 2 a), la moitié seulement des FE ont pu être convertis en quantité de NH₃ du fait de l'absence d'une ou plusieurs métadonnées nécessaires. La moitié des données étaient ainsi déjà perdues suite à cette première étape de conversion. Une deuxième méthode qui consiste à convertir directement l'unité d'origine à l'unité de référence a donc été développée.

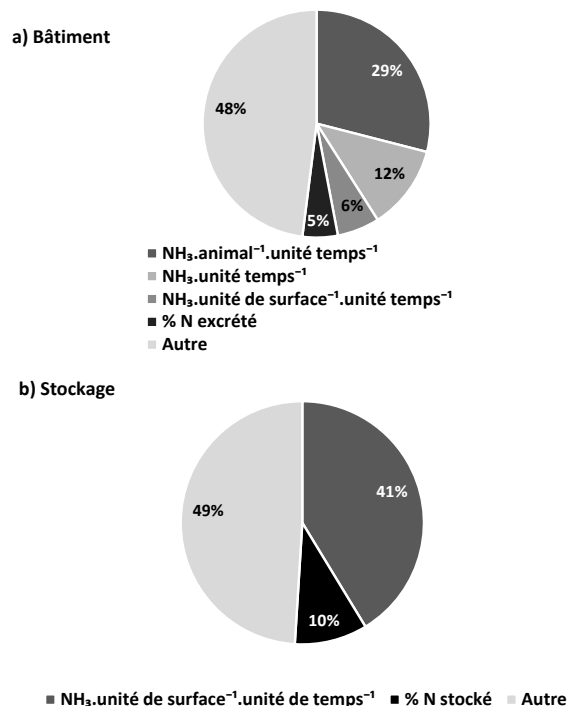


Figure 1 – Unités d'expression les plus communément utilisées pour les FE de NH₃ en élevage porcin

Par exemple, si le FE était exprimé à l'origine en g NH₃.kg PV⁻¹.jour⁻¹ mais que ni le poids vif des animaux, ni la durée de présence n'étaient indiqués, cette deuxième méthode permettait de convertir directement en g NH₃.LU⁻¹.jour⁻¹ même si le passage en quantité de NH₃ n'était pas possible. Le développement de ces deux méthodes conduites en parallèle avait donc pour objectif la conversion d'un maximum de données sachant que dans certains cas, la conversion a pu être réalisée à partir des deux méthodes. Dans ce cas de figure, le résultat obtenu à partir de la deuxième méthode de conversion a été privilégié (conversion plus directe comportant moins de risque d'erreur). Ainsi, 58, 8 et 70 % des FE saisis ont pu être convertis respectivement en g N-NH₃.LU⁻¹.jour⁻¹, % N excrété et kg N-NH₃.place⁻¹.an⁻¹. Au total, 70 % des FE saisis initialement

ont pu être convertis dans au moins une des trois unités de références définies (les 30 % restant ne pouvant pas être analysés).

4.1.2. Lors du stockage

Les 417 FE saisis dans la base ELFE correspondent à 34 unités d'expression différentes sachant que, comme en bâtiment,

pour une même publication un FE est parfois exprimé sous plusieurs unités. Des groupes d'unités ont donc été créés afin de représenter les unités les plus communément dans la figure 1 b). De la même façon que pour le poste bâtiment, la conversion dans au moins une des trois unités de référence (cf. 2.1) nécessite certaines informations propres à l'unité d'origine

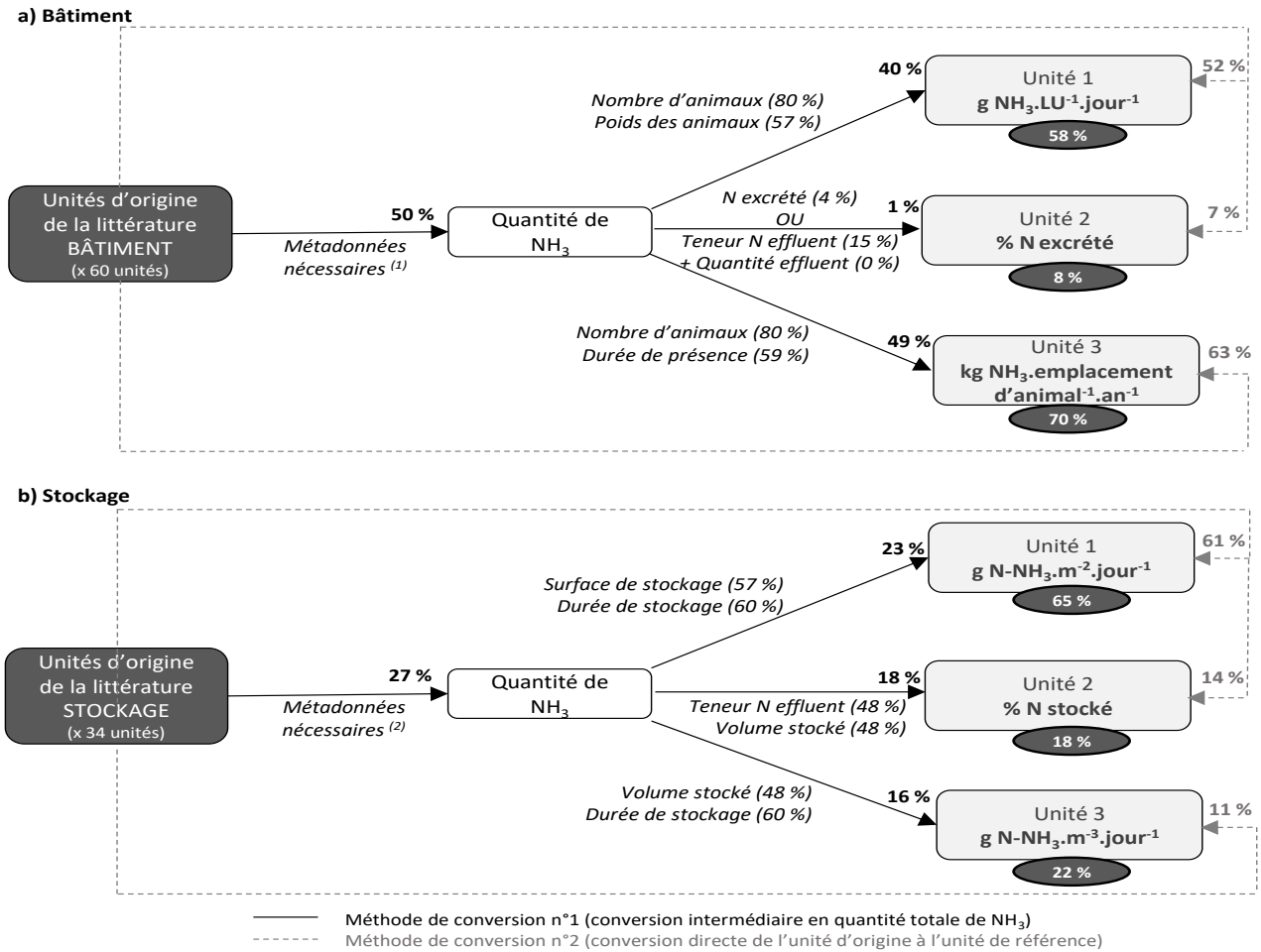


Figure 2 – Processus de conversion des unités de la littérature

(1) teneurs en MS, N et TAN de l'effluent ; quantité de N excrété ; quantité d'effluent ; nombre d'animaux ; poids des animaux ; quantité d'aliment consommée ; teneurs en MS et MAT des aliments ; surface utilisée ; durée de présence des animaux

(2) teneurs en MS, N et TAN de l'effluent ; volume stocké ; surface de stockage ; durée de stockage ; nombre d'animaux ; poids des animaux

et à l'unité de référence. La figure 2 b) illustre le processus de conversion des 34 unités d'expression d'origine utilisées dans la littérature. La perte de données suite à la première étape de conversion en quantité de NH₃ est plus importante qu'en bâtiment (27 % des données seulement sont convertibles). Comme le montre cette figure, à partir des informations renseignées, 65, 18 et 22 % des FE saisis ont pu être convertis en g N-NH₃.m⁻².jour⁻¹, % N stocké et g N-NH₃.m⁻³.jour⁻¹ respectivement. Au total, 83 % des FE saisis initialement ont pu être convertis dans au moins une des trois unités de références définies (les 17 % restant ne pouvant pas être analysés).

En comparaison avec les émissions en bâtiment, davantage de données ont pu être converties au stockage (70 et 83 % respectivement). Cependant, au stockage, les FE ont généralement pu être convertis vers une seule des trois unités de référence contrairement au bâtiment où presque 50 % des FE sont exprimés sous deux unités différentes.

4.2. Informations nécessaires à la caractérisation de l'itinéraire technique

4.2.1. En bâtiment

Dans le cadre du projet ELFE, des itinéraires techniques ont été définis afin de présenter les moyennes de FE associées. Ces moyennes de FE par itinéraire technique devraient notamment apporter des éléments pour les exigences règlementaires du BREF sur les émissions gazeuses. Les itinéraires techniques pour le poste bâtiment sont définis en fonction de la catégorie animale, du type de sol, du système d'évacuation des effluents et enfin, de la fréquence d'évacuation des effluents (pour les systèmes en caillebotis uniquement). La gestion nutritionnelle constitue également un critère prédominant pour l'étude des émissions d'azote. En effet, comme cela a été mentionné précédemment (cf. 3.1.1), la teneur en MAT a un impact direct sur les quantités de N excrété et donc, sur les émissions de NH₃.

Cependant, cette information étant manquante pour un peu plus de la moitié des données, ce critère n'a pas été retenu afin de ne pas exclure ces données. Néanmoins, pour les données pour lesquelles l'information est disponible, deux classes ont été définies (taux élevé et taux faible de MAT dont la limite a été fixée par catégorie animale à partir des données fournies dans le document du RMT Elevages et Environnement 2016). Ceci a permis d'exprimer pour chaque itinéraire technique, la moyenne des FE associés à chacune des deux classes de MAT ainsi que la moyenne des FE dont le taux de MAT est inconnu. La figure 3 illustre la perte de données d'émissions de NH₃ (relativement à celles collectées dans la base ELFE) en lien avec la difficulté à caractériser les systèmes d'élevage étudiés. Comme le montre cette figure pour le poste bâtiment, dans 100 % des cas la catégorie animale concernée est renseignée et le type de sol dans 94 % des cas. Parmi les données dont les éléments précédents sont connus, 68 % précisent également le système d'évacuation des effluents et 61 % la fréquence d'évacuation. Afin de faire le lien avec la partie précédente sur la conversion des unités d'expression des FE, un dernier tri a été réalisé sur les 61 % de données restantes suite à la spécification de l'itinéraire technique. Cette dernière étape est marquée par la perte supplémentaire de 22 % de données. Au final, 39 % des FE collectés pour le bâtiment peuvent être analysés. Par ailleurs, l'utilisation d'additifs dans les aliments ou dans les effluents ainsi que la mise en place de procédés de traitement de l'air impactent les émissions de NH₃ par le bâtiment (cf. 3.1.1). Ces informations sont renseignées pour environ 10 % des FE saisis dans le cas des additifs alimentaires et des procédés de traitement de l'air et pour un quart des FE en ce qui concerne l'utilisation d'additifs dans les effluents. Il est donc supposé que ces informations ne sont précisées que dans le cadre d'expérimentations mises en place pour en tester leur effet. Dans le cas contraire, il a été supposé que ces traitements ne concernaient pas l'expérimentation. Cette approche montre que plusieurs hypothèses ont été posées afin que le maximum de données collectées puisse être étudié.

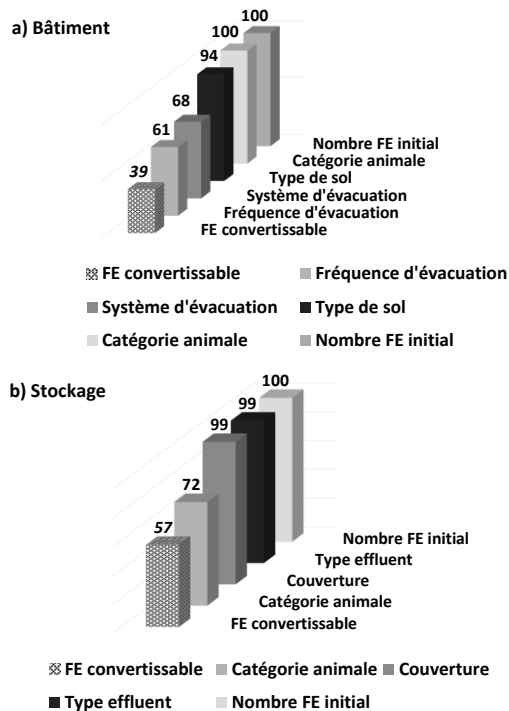


Figure 3 – Part de données disponibles en fonction des informations indiquées dans la publication source

4.2.2. Lors du stockage

Les itinéraires techniques pour le poste stockage, dans le cas des élevages de porcs, sont définis par le type d'effluent stocké (lisier, fumier), la couverture ou non de l'ouvrage et éventuellement, la catégorie animale (statut, état physiologique, âge/poids). Ce dernier critère permet de représenter plus spécifiquement l'orientation de l'élevage d'où proviennent les effluents (naisseur engraisseur, engraisseur, post-sevreur engraisseur, etc.). Comme l'illustre la figure 3 b), parmi les données collectées dans ELFE, la quasi-totalité des FE sont associés au type d'effluent stocké (99 %). Cela constitue l'information minimale afin que la valeur d'émission puisse être étudiée. La couverture ou non de l'ouvrage de stockage est renseignée dans 82 % des données. Cependant, afin de ne pas exclure les publications pour lesquelles cette information n'est pas explicitement indiquée, il a été considéré, lorsque qu'elle manquait et que l'analyse ne portait pas sur l'effet de la couverture, que les ouvrages n'étaient pas couverts. Ainsi, comme le montre la figure 3 b), aucun FE n'a été exclu par rapport à ce critère. Ensuite, parmi les 99 % de données encore disponibles à ce niveau, 72 % présentent également la catégorie animale. Enfin, en considérant ces différents critères de tri sur le stockage ainsi que la conversion des FE dans au moins une des trois unités de référence, 15 % de données supplémentaires sont perdues. Au final, 57 % des FE collectés initialement pour le stockage peuvent être analysés.

4.3. Recommandations sur les informations à renseigner

L'analyse de la littérature collectée dans la base ELFE a permis d'identifier certaines carences dans la mise à disposition des données dans les articles traitant des émissions gazeuses et, en particulier, du NH₃. A l'issue de ce travail d'analyse, des recommandations sur les informations à renseigner dans les publications peuvent être proposées. Elles portent d'une part, sur le choix des unités d'expression et d'autre part, sur la description du système d'élevage étudié. Concernant le choix des unités d'expression, suffisamment de métadonnées doivent être précisées afin que la conversion vers les unités réglementaires et/ou vers des unités représentatives du système de production puisse être réalisée. L'établissement des FE doit donc aboutir à des valeurs par animal produit ou par place. Pour ce faire, les informations relatives aux performances des animaux (poids entrée/sortie, nombre d'animaux, durée de présence en bâtiment, caractérisation et consommation d'aliment par animal, etc.) doivent être fournies dans les publications. Concernant la description du système d'élevage, les informations permettant de décrire le fonctionnement général du système sont également nécessaires (type de sol, système d'évacuation des effluents : type et fréquence, stratégie alimentaire, couverture ou non de l'ouvrage de stockage, etc.). De plus, la présence ou l'absence des principales voies de réduction des émissions du composé étudié pourrait être idéalement indiqué (par exemple l'utilisation d'additifs alimentaires, d'additifs dans les effluents ou encore la mise en place d'un système de traitement de l'air etc.).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La base ELFE a permis d'établir des FE de NH₃ pour les postes bâtiment et stockage dans des itinéraires standards en production porcine. La comparaison de ces FE aux valeurs publiées dans différents documents officiels de référence relatifs aux émissions gazeuses (BREF, EMEP, UNECE) montre la

cohérence des moyennes d'émissions obtenues. Par ailleurs, des FE ont également pu être calculés pour des itinéraires techniques mettant en œuvre des pratiques de réduction des émissions de NH₃. Les FE ainsi calculés sont cohérents relativement à ceux publiés dans l'UNECE et dans un guide compilant les principales pratiques de réduction des émissions (Guinand *et al.*, 2010a). Pour autant, les différences observées entre les valeurs de ces documents de référence et les FE moyens calculés ainsi que leurs écarts types témoignent de l'apport de connaissances par la base ELFE. En effet, ces différences illustrent la nécessité d'analyser plus finement la description des itinéraires techniques pour identifier des facteurs de variation explicatifs à partir des métadonnées saisies dans la base. ELFE représente ainsi un moyen d'amélioration des connaissances sur les émissions qui pourra permettre à terme, de contribuer à l'actualisation des valeurs présentées dans les documents officiels de référence. En effet, l'intérêt des moyennes proposées dans ELFE repose sur la représentation précise de la diversité des itinéraires techniques en usage sur le territoire.

Ces valeurs doivent aussi pouvoir être utilisées par les acteurs de la filière pour satisfaire aux exigences réglementaires aux niveaux national et Européen.

Ce travail de compilation et de comparaison des données de la littérature pour l'établissement de FE moyens par itinéraire technique a permis de mettre en évidence certaines carences pour de nombreuses références, notamment l'absence de paramètres indispensables soit à la conversion en unités communes, soit à la caractérisation d'un itinéraire technique donné. Ainsi, certaines données saisies dans la base ELFE ne peuvent pas être incluses dans les analyses en raison de ce manque d'information dans la littérature. Ce projet doit se poursuivre tant par la collecte de nouvelles publications que par l'analyse des données déjà collectées. En effet, les données compilées dans la base ELFE vont également permettre l'établissement de FE pour N₂O, CH₄, CO₂, H₂S, NO_x, COV, odeurs et particules. Ces analyses couvriront également les différents postes (épandage, traitement et pâturage) et les différentes productions (porcine mais aussi avicole et herbivore).

Les auteurs remercient l'ADEME (Contrat n° 15-60-C0079), le Ministère de l'Agriculture et le CASDAR pour leur appui financier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arogo J., Zhang R. H., Riskowski G. L., Christianson L. L., Day D. L., 1999. Mass transfer coefficient of ammonia in liquid swine manure and aqueous solutions. *J. Agric. Eng. Res.*, 73, 77-86.
- Arogo J., Westerman P. W., Heber A. J., 2003. A review of ammonia emissions from confined swine feeding operations. *Trans. ASAE* 46, 805-817.
- Balsari P., Airoldi G., Dinuccio E., Gioelli F., 2007. Ammonia emissions from farmyard manure heaps and slurry stores—Effect of environmental conditions and measuring methods. *Biosyst. Eng.*, 97, 456-463.
- Bittman S., Dedina M., Howard C.M., Oenema O., Sutton M.A., 2014. Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK.
- Berg W., Brunsch R., Pazsiczki I., 2006. Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 112, 129-134.
- Braam C.R., Ketelaars J., Smits M.C.J., 1997. Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Neth. J. Agri. Sci.*, 45, 49-64.
- Chadwick D.R., Matthews R., Nicholson R.J., Chambers B.J., Boyles L.O., 2002. Management practices to reduce ammonia emissions from pig and cattle manure stores. *Proceedings of the 10th International Conference of the RAMIRAN Network*. Slovak Republic, May 14 – 18, 2002.
- CITEPA, 2017. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France. Format SECTEN.
- Cortus E.L., Lemay S.P., Barber E.M., Hill G.A., Godbout S., 2008. A dynamic model of ammonia emission from urine puddles. *Biosyst. Eng.*, 99, 390-402.
- Dai X.R., Blanes-Vidal V., 2013. Emissions of ammonia, carbon dioxide, and hydrogen sulfide from swine wastewater during and after acidification treatment: Effect of pH, mixing and aeration. *J. Environ. Man.*, 115, 147-154.
- Dinuccio E., Balsari P., Giolli F., 2015. Reduction of gaseous emission from pig slurry storage tanks by different covering materials. *RAMIRAN 2015 – 16th International Conference*. Rural-Urban Symbiosis, 8th – 10th September 2015, Hamburg, Germany
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories, 62 pp.
- Espagnol S, Guinand N., Genermont S., Hassouna M., 2015. Efficacité sur les émissions gazeuses d'itinéraires techniques en élevage porcin intégrant des bonnes pratiques environnementales. *Journées Rech. Porcine*, 47, 171-176.
- GIEC 2006, Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (éds). Publié : IGES, Japon.
- Giner-Santonja G., Georgitzakis K., Scalet B.M., Montobbio P., Roudier S., Delgado Sancho L., 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs; EUR 28674 EN; doi: 10.2760/020485.
- Groot Koerkamp P.W.G., 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *J. agric. Eng. Res.*, 59, 73-87.
- Groot Koerkamp P.W.G., Metz J.H.M., Uenk G.H., Phillips V.R., Holden M.R., Sneath R.W., Short J.L., White R.P., Hartung J., Seedorf J., Schroder M., Linkert K.H., Pedersen S., Takai H., Johnsen J.O., Wathes C.M., 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *J. agric. Eng. Res.*, 70, 79-95.
- Guinand N., 2000. Influence de la vidange des préfosse sur l'émission d'ammoniac et d'odeurs par les porcheries d'engraissement – résultats préliminaires. *Journées Rech. Porcine*, 32, 83-88.
- Guinand N., Dolle J.B., Aubert C., 2010a. Guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevage. RMT Élevage et Environnement. 303 pp.
- Guinand N., Quiniou N., Courboulay V., 2010b. Emissions comparées d'ammoniac et de gaz à effet de serre par des porcs charcutiers élevés au froid sur caillebotis partiel ou à la thermoneutralité sur caillebotis intégral. *Journées Rech. Porcine*, 41, 277-284.
- Guinand N., Rugani A., 2013. Incidence de la réduction de la quantité de paille et de la fréquence des apports sur les émissions d'ammoniac, de GES et d'odeurs chez les porcs en engraissement. *Journées Rech. Porcine*, 45, 141-142.
- Guinand N., Rugani A., 2016. Lisier flottant : une technique simple pour réduire les émissions d'ammoniac et d'odeurs en porcherie. *Journées Rech. Porcine*, 48, 171-176.
- Groenestein C.M., Van Faassen H.G., 1996. Volatilization of Ammonia, Nitrous Oxide and Nitric Oxide in Deep-litter Systems for Fattening Pigs. *J. agric. Engng Res.*, 65, 269-274.
- Hansen M.N., Henriksen K., Sommer S.G., 2006. Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage solids separated from pig slurry: Effects of covering. *Atmos. Environ.*, 40, 4172-4181.

- Jarret G., Cerisuelo A., Peu P., Martinez J., Dourmad J.Y., 2012. Impact of pig diets with different fibre contents on the composition of excreta and their gaseous emissions and anaerobic digestion. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 160, 51-58.
- Lagadec S., Bellec F., Masson L., Dappelo C., Landrain P., Guingand N., 2015. Enquête sur 31 laveurs d'air de porcherie en Bretagne, clés d'amélioration de l'efficacité sur l'abattement de l'ammoniac. *Journées Rech. Porcine*, 47, 177-182.
- Lagadec S., Roy H., Landrain P., Hassouna M., Lecuelle S. 2016. Effet d'une alimentation multiphase à bas taux protéiques sur les performances animales, la composition des effluents et les émissions gazeuses. *Journées Rech. Porcine*, 48, 165-170.
- Le P.D., Aarnink A.J.A, Jongbloed A.W., 2009. Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livest. Sci.*, 121, 267-274.
- Levasseur P., 2005. Composition des effluents porcins et de leur co-produits de traitement – Quantité produites. Institut Technique du Porc
- Liu F., Fiencke C., Guo J., Rieth R., Dong R., Pfeiffer E.V., 2017. Performance evaluation and optimization of field-scale bioscrubbers for intensive pig house exhaust air treatment in northern Germany. *Sci. Tot. Environ.*, 579, 694-701.
- Loyon L., Guiziou F., Picard S., Saint-Cast P., 2016. Farm-Scale Applicability of Three Covers (Peat, Polystyrene Balls and Synthetic Sheet Roof) to Reduce Ammonia Emissions from Pig Slurry Storage. *Agr. Sci.*, 7, 396-406.
- Lynch M.B., Sweeney T., Callan J.J., Flynn B., O'Doherty J.V., 2007. The effect of high and low dietary crude protein and inulin supplementation on nutrient digestibility, nitrogen excretion, intestinal microflora and manure ammonia emissions from finisher pigs. *Animal*, 1:8, 1112-1121.
- Massabie P., Robreau F., Salaün Y., 2010. Bâtiments d'élevage porcine et environnement – Analyse de l'enquête de novembre 2008 réalisée par le SCEES. Rapport d'étude. 75 pp.
- Melse R., Ogink N., Rulkens W., 2009. Overview of European and Netherlands' regulations on airborne emissions from intensive livestock production with a focus on the application of air scrubbers. 2009. *Biosyst. Eng.*, 104, 289-298.
- Melse R., Ploegaert J., Ogink N., 2012. Biotrickling filter for the treatment of exhaust air from a pig rearing building: Ammonia removal performance and its fluctuations. *Biosyst. Eng.*, 113, 242-252.
- Misselbrook T., Perazzolo F., Hunt J., 2015. Gaseous emissions from slurry storage –Influence of temperature and potential mitigation methods. RAMIRAN 2015 – 16th International Conference. Rural-Urban Symbiosis, 8th – 10th September 2015, Hamburg, Germany
- Monteny G.J., Erisman J.W., 1998. Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Neth. J. Agri. Sci.*, 46, 225-227.
- Philippe F.X., Laitat M., Canart B., Vandenhede M., Nicks B., 2007. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livest. Sci.*, 111, 144-152.
- Portejoie S., Martinez J., Guiziou F., Coste C.M., 2003. Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes. *Biores. Tech.*, 87, 199-207.
- Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Béline F., Paillat J.M., Dourmad J.Y., 2010. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Anim.*, 4:8, 1413-1424.
- Rousset N., Guingand N., Dezat E., Lagadec S., Jegou J.Y., Dennery G. Chevalier D., Boulestreau-Boulay A.L., Dabert P., Berraute Y., Allain E., Maillard P., Adji K., Hassouna M., Robin P., Ponchant P., Aubert C., 2014. Les litières en élevage : identification, test et évaluation des techniques ou des pratiques consistant à mieux gérer les litières avec moins de matériaux. *Innovations Agronomiques*, 34, 403-415.
- RMT Elevages et Environnement : Dourmad J.Y., Levasseur P., Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y., Espagnol S., 2016. Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, Paris, 26 pp.
- Sommer S.G., Christensen B.T., Nielsen N.E., Schjorring J.K., 1993. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. *J. Agric. Sci.*, 121, 63-71.
- Sommer S.G., Zhang G.Q., Bannink A., Chadwick D., Misselbrook T., Harrison R., Hutchings N.J., Menzi H., Monteny G.J., Ni J.A., Oenema O., Webb J., 2006. Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. *Advances in Agronomy* 89, 261-335.
- Velthof G.L., Nelemans J.A., Oenema O., Kuikman P.J., 2005. Gaseous nitrogen and carbon losses from pig manure derived from different diets. *J. Environ. Qual.*, 34, 698-706.
- Vigan A., Ponchant P., Guingand N., Espagnol S., Hassouna M., Lorinquer E., Lagadec S., Brame C., Edouard N., Genermont S., Loyon L., Eugène M., Klumpp K., Fiorelli J-L., Mathias E., Legall C., Cohan J-P., Eglin T., Robin P., 2017. Une base de données pour caractériser les émissions gazeuses. 12èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, 5 et 6 avril 2017, Tours, France, 386-390.
- Xue S. K., Chen S., Hermanson R. E., 1999. Wheat straw cover for reducing ammonia and hydrogen sulfide emissions from dairy manure storage. *Trans. ASAE* 42, 1095-1101.