



INSTITUT NATIONAL DE MEDECINE AGRICOLE

14 rue Auguste Comte - 37000 Tours

www.inma.fr

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MEDECINE AGRICOLE



**Sauvetage d'animaux en élevage porcin hors sol : atmosphère à
haut risque chimique ?**

Quelles conclusions en tirer pour le personnel agricole et les sauveteurs

**Mémoire présenté par le Docteur BARRIER cyril
Octobre 2015**

Résumé

L'interrogation portée au décours d'une intervention sapeurs-pompiers pour le sauvetage de porcs tombés dans une fosse à lisier a permis de poser la question sur le risque chimique des gaz générés dans l'ambiance de travail par l'élevage porcin intensif.

Parmi plus d'une centaine de gaz, seul l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène présentent actuellement un danger potentiel.

La recherche bibliographique révèle des niveaux d'expositions à l'ammoniac supérieurs aux valeurs limites réglementaires. Le sulfure d'hydrogène présent de façon inconstante présente un réel risque d'intoxication aiguë.

Les solutions techniques apportées ne permettent pas actuellement aux entreprises d'élevage de se conformer à la réglementation et les mesures de prévention collectives sont parfois inefficaces. Un nouveau défi s'impose au monde agricole pour répondre aux exigences de protection de la santé

Mots clés : gaz, élevage spécialisé, conditions de travail, sapeurs-pompiers

Summary :

A question, asked after rescue of pig fallen in a pit manure, has allowed to question about the chemical risk, of gases, generate by high-density swine confinement into indoor air

Among more than one hundred gas, only ammonia and hydrogen sulfid currently present a potential danger.

An analysis of bibliographic database shows that ammonia exceeding threshold value level. Hydrogen sulfid present a high risk of acute intoxication.

Technical solutions do not currently allow swine breeding to comply with regulations, collective preventive measure are sometimes ineffective. A new challenge is required to the agricultural world to meet the health protection requirements.

Key words : Gas, specialized farming, work conditions, firefighter

Table des matières

1. Introduction.....	5
2. Contexte général.....	6
1 Pompiers en Sarthe.....	6
2 L'élevage porcin.....	6
3 L'emploi en production porcine.....	7
4 Les bâtiments d'élevage.....	8
5 Interventions sapeurs-pompiers en élevage porcin.....	9
3. L'Intervention.....	10
1 Motif.....	10
2 Départ.....	10
3 Arrivée et organisation.....	10
4 Abordage.	10
5 Extraction.....	11
4. Atmosphère de l'élevage porcin en stabulation.....	12
1. Les polluants physiques	13
2. Les polluants bactériologiques.....	14
2.1 Bactéries.....	14
2.2 Endotoxines.....	14
3. Les polluants chimiques.....	15
3.1 Dioxyde de carbone.....	16
3.1.1 Données générales.....	16
3.1.2 Toxicologie.....	16
3.1.3 Données métrologiques de la littérature.....	16
3.2 Méthane.....	16
3.2.1 Données générales.....	16
3.3 Ammoniac (NH ₃).....	17
3.3.1 Données générales	17
3.3.2 Toxicologie.....	17
3.3.3 Données métrologiques de la littérature.....	20
3.3.4 Accidentologie	24

3.4. Sulfure d'hydrogène (H ₂ S).....	24
3.4.1 Données générales.....	24
3.4.2 Toxicologie.....	24
3.4.3 Données métrologiques de la littérature.....	27
3.4.4 Accidentologie.....	30
4 Discussion.....	31
1 L'ammoniac.....	32
2 Le sulfure d'hydrogène.....	35
5 Conclusion.	38

1. Introduction

«Ca pique , c'est dangereux ? »

Les missions du médecin sapeur-pompier du Service de Santé et de Secours Médical (SSSM) sont définies par l'article 24 du Décret no 97-1225 du 26 décembre 1997 relatif à l'organisation des services d'incendie et de secours.

Si elles comportent, en outre, une part médicale avec la pratique de soutien sanitaire des interventions, les soins d'urgence aux sapeurs-pompiers, la participation aux missions de secours d'urgence, c'est le versant préventif qui tient une autre part prépondérante de notre activité avec une mission de conseil en matière de médecine préventive, d'hygiène et de sécurité; notamment auprès du comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail.

Les missions des sapeurs-pompiers dont les principes sont édictés dans l'article R 1424-2 du Code Général des Collectivité Territoriales, sont extrêmement variées. Ils doivent faire face entre autres, à des demandes de secours dans des conditions s'intégrant dans tous les domaines professionnels. Le domaine agricole est parfois pourvoyeur de situations complexes.

La chute de porcs dans la fosse à lisier par rupture de caillebotis est l'une d'entre elle. Extraire les porcs peut être complexe, l'intervention des pompiers est même recommandée (1).

C'est après l'une d'entre elles que la question « ça pique, c'est dangereux ? » a été posée, en raison de son caractère irritant pour les yeux et les voies aériennes supérieures, entendant par là même la dangerosité de l'air respiré.

Ayant eu connaissance à titre privé du danger que représente les gaz en porcherie (annexe 1) ayant provoqué la mort de porcelets au cours du brassage de lisier, cela m'avait interpellé sur le danger éventuel pour les humains.

Il était donc intéressant d'aller au delà du caractère irritatif immédiat et de s'interroger sur la toxicité chimique potentielle de l'atmosphère de travail en élevage porcin hors sol. Non seulement pour les pompiers tout au long de l'intervention, de l'abordage à l'évacuation, sur une relative courte période, une telle intervention prenant moins d'une journée. Mais également pour le personnel agricole qui y travaille tout au long de l'année, qu'il soit non salarié agricole ou salarié agricole.

L'objectif est d'identifier les principaux toxiques chimiques présents dans un tel atmosphère par une étude de la littérature, leur dangerosité, de déterminer les niveaux d'exposition, les valeurs légales, en tirer les conclusions de préventions pour le personnel agricole et les sapeurs-pompiers et établir des recommandations d'interventions.

2. Contexte général.

1 Pompiers en Sarthe.

La Sarthe , département de 567382 habitants au recensement de 2012 possède un Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) de niveau 2. Il y a 76 Centres d'Interventions et de Secours (CIS), 295 sapeurs-pompiers professionnels et 1897 sapeurs-pompiers volontaires

En 2014 les sapeurs-pompiers ont réalisé 31119 interventions. On distingue les opérations par leur nature :

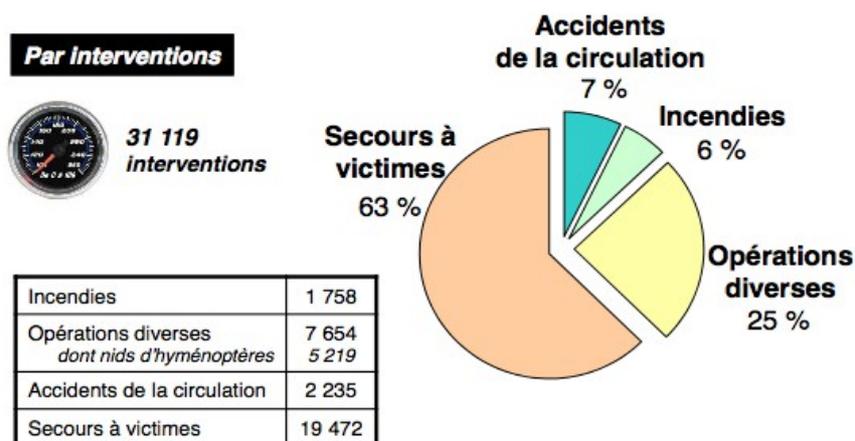


figure 1 : données générales par interventions en 2014 (Sous Direction des Moyens Opérationnels, SDIS 72, 2015)

Les interventions de sauvetage d'animaux font partis des opérations diverses.

2 L'élevage porcin.

L'application des concepts industriels à la production animale est une des évolutions majeure de l'agriculture conduisant à la concentration d'animaux dans les élevages hors sol, en stabulation permanente. Cette technique a été appliquée dès les années soixante par les éleveurs de porcs (2) . Désormais près de 90% des élevages porcins sont hors sol (3).

Ces changements dans les modalités de production animale ont profondément marqué l'environnement du travail. La conduite en bande , l'agrandissement des élevages nécessitent une présence permanente et prolongée à l'intérieur du bâtiment. Avec la stabulation permanente, la concentration animale, le stockage du lisier sous caillebotis désormais très majoritaire à 90 % en production porcine quelque soit le stade physiologique (4) sont apparus de nouveaux polluants dans l'atmosphère de travail du porcher (2,3, 5).

La France métropolitaine comptait 22300 élevages en 2010 et 13,8 millions de porcs.

Le grand ouest regroupant près de 77% du cheptel métropolitain et les Pays de la Loire 12% (6).

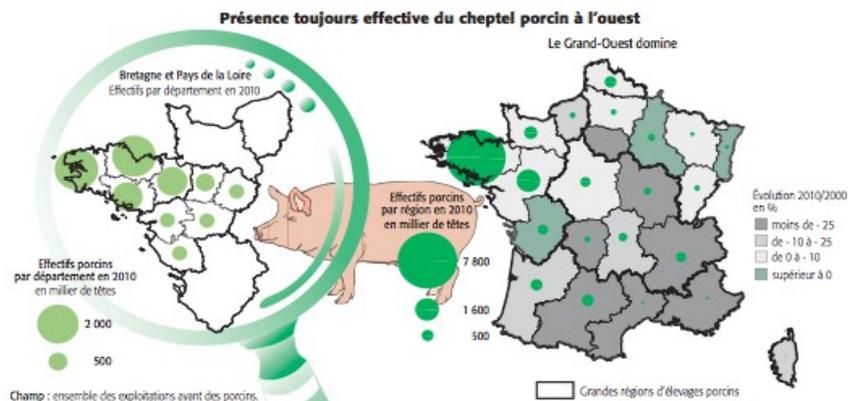


figure 2 : Agreste 2010, recensements agricoles.

Le département de la Sarthe comptait, en 2010, 319500 porcs dans 357 élevages, répartis essentiellement dans l'Ouest du département (7).

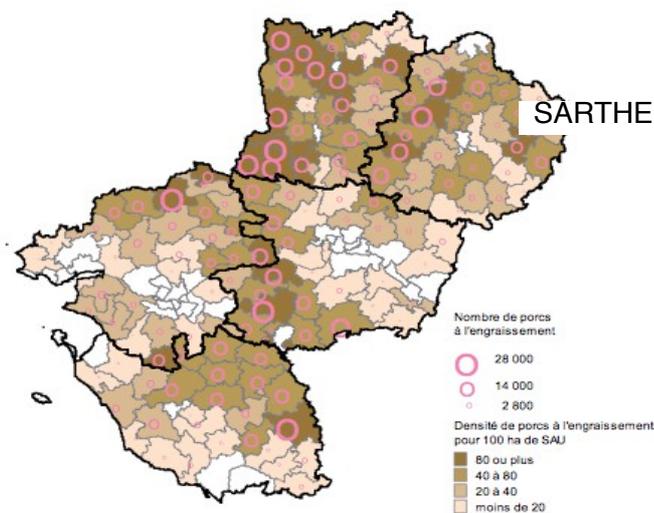


figure 3 : Répartition des porcs à l'engraissement par canton. Source Agreste recensements agricoles 2000 et 2010

3 L'emploi en production porcine.

La production porcine en France représentait 13857 Unités de Travail Annuel (UTA) en 2010, comprenant 8639 emplois non-salariés et 5218 emplois salariés (8)

4 Les bâtiments d'élevage.

Les caractéristiques des bâtiments d'élevage que ce soit en maternité, post-sevrage ou engraissement sont d'être à 90 % sur caillebotis, ils ont en moyenne plus de 15 ans et une part non négligeable à plus de 25 ans (9).

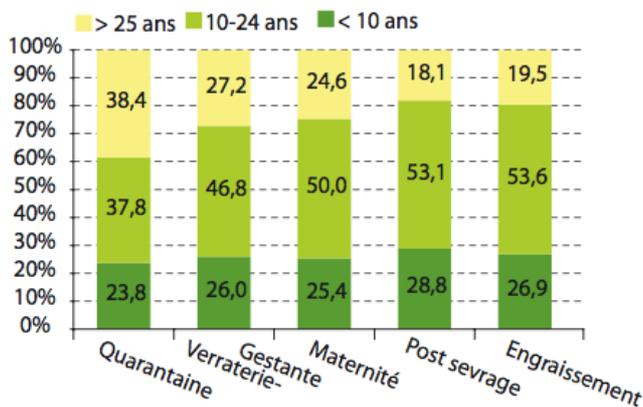


Figure 4 : % des places par stade selon leur âge (source : MASSABIE (P.)-2007, TechniPorc, 5)

L'ancienneté des bâtiments d'élevage sur caillebotis avec préfosse est un facteur important d'exposition des structures porteuses des caillebotis en béton à l'hydrogène sulfuré qui entraîne une corrosion et un risque d'effondrement des caillebotis.

Les élevages de porcs sur caillebotis comportent généralement un stockage du lisier (mélange de fèces, d'urine, d'eaux de lavage) sous ces caillebotis dans des préfosse souterraines dont la profondeur peut varier de 80 cm à plus de 2,5 m. Soit l'évacuation du lisier se fait par gravité dans des fosses extérieures après brassage mécanique pour une mise en phase liquide, soit le stockage est permanent sous la structure.

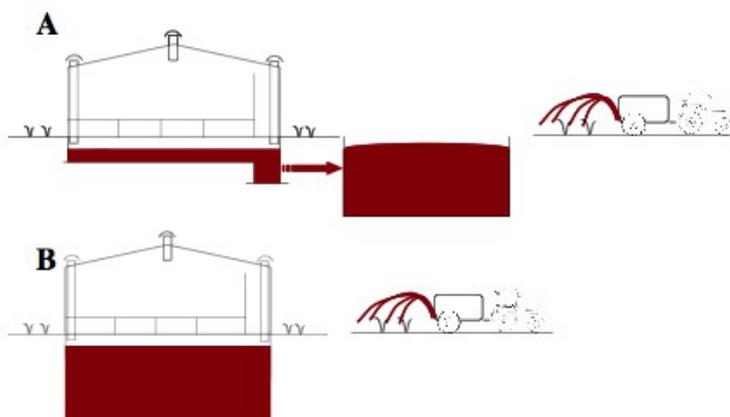


Figure 5 : modes de stockage des effluents (source PEU (P.) (9))

Le dernier recensement Agreste (10) montre une répartition égale d'élevages ayant un stockage en fosse extérieure et sous bâtiments. L'autonomie de stockage du lisier est supérieure à 4 mois dans 95% des élevages et supérieure à 6 mois pour 81%. Cela peut être équivalent à 7,5 mois de production de lisier par l'ensemble des porcs élevés selon la réglementation nitrate en vigueur dans le département de l'exploitation (11).

5 Interventions sapeurs-pompiers en élevage porcin.

Par deux fois, une en 2013 et une en 2014 les sapeurs-pompiers sont intervenus en Sarthe pour secourir des porcs tombés dans les préfosse à lisier en raison d'un effondrement de caillebotis. Il n'y a pas de statistique publiée concernant ce type d'interventions dans les SDIS. Ces interventions sont catégorisées Opérations Diverses. Toutefois elles ne restent pas exceptionnelles, la presse s'en faisant parfois écho de façon non exhaustive (pas de publication concernant les 2 interventions en Sarthe). Il a été retrouvé 6 interventions publiées dans les journaux depuis 2010, impliquant au total 146 animaux et à chaque fois les sapeurs-pompiers sont intervenus pour le dégagement des animaux (12,13,14,15,16,17).

Les articles proviennent de journaux étant dans l'ouest ou le nord ouest de la France, en corrélation avec la répartition des élevages sur le territoire.

La chute des animaux dans une fosse à lisier est due à une fragilité des caillebotis ou des poutrelles de maintien en raison de l'altération du béton et de l'armature métallique dans le temps. On retrouve ce type d'accident dans les exploitations vieillissantes, hors comme vu précédemment une part importante, de 19,5 à 38%, des exploitations à plus de 25 ans (4).

Il s'agit d'une intervention qui ne fait pas l'objet d'un protocole, il n'y a pas eu de phase de réflexion organisationnelle en amont.

3. L'Intervention.

1 Motif.

Appel reçu par les pompiers au Centre de Traitement des Appels (CTA) d'un agriculteur, notion de chute de 10 porcs dans la préfosse à lisier par effondrement des caillebotis de la case. Les porcs sont vivants.

2 Départ.

Le CTA ordonne le départ des équipages suivants :

- Chef de groupe proximité (Sapeur-pompier volontaire qui organise initialement les secours en attendant l'arrivée du Chef de groupe Etat Major Opérationnel Départemental (EMOD) qui est sapeur-pompier professionnel).
- Chef de groupe EMOD
- Véhicule Tout Usage (VTU) avec 3 Sapeurs-pompiers Volontaires (SPV)
- Véhicule Léger (VL) avec 2 SPV
- Véhicule du Groupement de Reconnaissance et d'Intervention en Milieu Périlleux (GRIMP) avec 4 sapeurs-pompiers professionnels
- Vétérinaire SPV

3 Arrivée et organisation.

La rupture de caillebotis concerne une case, les porcs au nombre de 10 sont dispersés dans la fosse sous jacente sous l'ensemble des cases de la bande.

Il y a environ 1,10 mètre de lisier, les porcs sont calmes, les postérieurs reposent sur le fond de la préfosse, la tête est hors de l'eau.

La fosse sous les caillebotis fait la surface de la bande d'élevage, il y a des piliers de soutien répartis sur l'ensemble de la fosse.

Les hommes sont répartis en deux groupes. Le premier chargé de pénétrer dans la fosse à lisier pour rassembler les porcs et les sangler pour l'évacuation. Le second groupe composé du GRIMP, unité spéciale qui utilise les techniques de manœuvre sur corde de spéléologie pour les évacuations en milieu périlleux est chargée de l'extraction des porcs.

L'agriculteur qui voulait initialement pénétrer dans la fosse est chargé par les sapeurs-pompiers de s'occuper des porcs après leur évacuation.

4 Abordage.

Les hommes du premier groupe sont équipés de bottes type Waders , combinaison de protection jetable utilisée dans la prise en charge d'une victime contaminée, lunettes de protection, gants cuir et casque. Pas de masque.

Ce groupe descend dans la fosse, profondeur de lisier environ 1,10m, il n'y a pas de vérification de présence d'hydrogène sulfuré avec le détecteur d'H₂S. Il n'y a pas de ventilation forcée par insufflation mise en place. Les porcs étant répartis sous l'ensemble de la bande d'élevage il faut aller les chercher en passant sous les autres caillebotis s'exposant aux déjections des autres animaux présents. La présence des poteaux de soutien et l'obligation de rattraper les porcs pour les conduire vers le lieu d'extraction rend l'assurance des hommes par une corde impossible par risque de blocage de corde autour des poteaux.

Il apparaît au cours de la progression dans la fosse qu'il y a des trous de 20 cm correspondant aux siphons d'évacuations.

Une fois chaque porc reconduit sous la zone d'extraction une sangle est passée autour du thorax, sous ses pattes antérieures puis il est soulevé.

Tant que les porcs sont dans le lisier ils restent calmes, ne nageant pas mais progressant en se poussant sur leur pattes arrières.

5 Extraction.

C'est le GRIMP, le second groupe, qui est chargé de l'extraction des porcs. Une « chèvre » est mise en place au dessus de la zone d'extraction, il s'agit d'un tripode sous le sommet duquel est placée une poulie. Les porcs sont attachés par la sangle et hissés à l'aide de winch. Lors de la phase de soulèvement les porcs resteront calmes non agités. Les porcs sont ensuite descendus sur les caillebotis et pris en charge par l'éleveur et le vétérinaire. C'est à partir de ce moment où ils ont les 4 pattes sur le sol qu'ils s'agitent. Ils sont ensuite conduits dans une autre case.



figure 6 : mise en place de la « chèvre » pour l'extraction.

4. Atmosphère de l'élevage porcin en stabulation.

Le mode d'élevage en stabulation permanente a entraîné une concentration d'animaux, un nouveau mode d'alimentation, de nouveaux modes de stockage des effluents avec leur accumulation en fosse. Ces différents facteurs ont entraîné une accumulation de polluants dans l'atmosphère de l'élevage.

Dans le cadre de la prévention des maladies professionnelles et de la protection des personnes aux polluants, il est défini des niveaux réglementaires de polluants à ne pas dépasser, les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP). Selon l'INRS :

Ces VLEP sont :

- soit des valeurs limites admises (VL), à caractère indicatif non réglementaire.
- soit des valeurs limites réglementaires (VR) qui peuvent être :
 - Indicatives : fixées par arrêté en application de l'article R.4412-150 du code du travail, le contrôle du respect des VLEP réglementaires indicatives par des organismes accrédités (art R.4412-27 et R.4412-76 du code du travail (CDT)) est obligatoire depuis le 1er janvier 2014. Ces valeurs établissent un objectif minimal de prévention à atteindre.
 - Contraignantes : d'un statut différent puisque font l'objet de décrets en Conseil d'Etat. Valeurs fixées pour les agents chimiques les plus dangereux. Les entreprises doivent faire réaliser annuellement un contrôle des expositions par un organisme accrédité (art R.4412-27 et R.4412-76 du CDT). Le respect de ces valeurs est une obligation pour l'employeur, leur non-respect expose à des sanctions.

La valeur limite d'un composé chimique représente sa concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé. Deux types de valeurs limites sont retenus :

- Valeurs limites court terme (VLCT) ou Valeur limite d'exposition (VLE): protège des effets des pics d'exposition, durée de référence de 15 minutes.
- Valeurs limites sur 8 heures ou valeurs limites de moyenne d'exposition (VME) : estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

Ces valeurs bénéficient d'une mise à jour.

On trouve dans l'ambiance des élevages porcins intensifs des polluants de trois ordres :

1. Les polluants physiques.

Se sont les poussières provenant de l'alimentation des porcs, de la dessiccation des fèces, des animaux eux mêmes (desquamation de cellules épithéliales) (18) ou comportant même des éléments issus des matériaux de construction (19), la filtration de l'air pouvant se faire au travers de panneaux de laine de verre (20).

Les valeurs réglementaires des poussières concernent également les poussières réputées sans effet spécifique, c'est à dire « qui ne sont pas en mesure de provoquer seules sur les poumons ou sur tout autre organe ou système du corps humain d'autre effet que celui de surcharge » (21).

Les normes actuelles d'exposition aux poussières sont définies selon l'article R 4222-10 du code du travail distinguant la fraction alvéolaire et la fraction inhalable. Elles sont respectivement de 5 mg/m³ et de 10 mg/m³ (21).

La fraction alvéolaire comporte les particules d'un diamètre inférieur à 4 µm et la fraction inhalable les particules d'une taille inférieure à 100 µm. Les particules inférieures à 4 µm peuvent atteindre le système respiratoire profond alvéolaire.

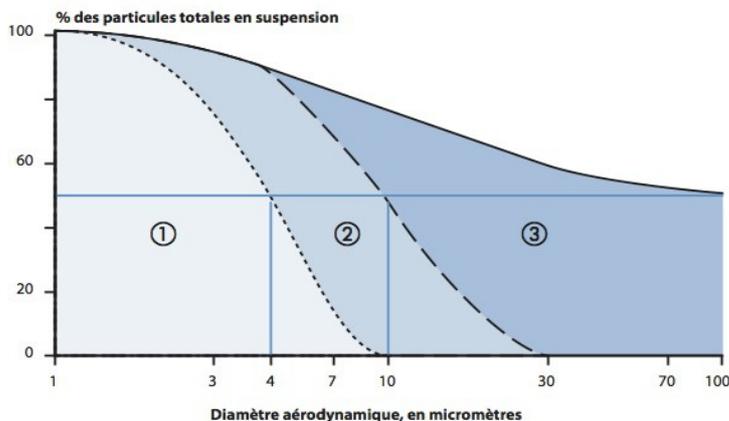


figure 7 : Les fractions conventionnelles sont représentées par les zones que délimitent les courbes. 1 : alvéolaire ; 1+2 : thoracique ; 1+2+3 : inhalable. (source INRS, ED 984)

Sous certaines conditions les poussières peuvent contenir des protéines pouvant avoir un caractère pro-inflammatoire ou allergisant (5,21).

La concentration massique en poussière totale retrouvée dans la littérature varie largement, entre 1 et 10 mg/m³ pour certains (2,3,18,19) à 15mg/m³ (5) et la fraction alvéolaire variant de 2 à 60 % (5).

Elle varie selon la saison avec un pic hivernal en raison d'une diminution de la ventilation mais également en fonction du stade physiologique, du mode d'alimentation (sec ou humide) de l'animal. Un pic étant observé en post-sevrage, les porcelets ayant un caractère fousseur plus important (tableau 1)

	Maternité	Post-sevrage	Engraissement
Eté	1,8 ± 1,1	4,1 ± 2,0	2,4 ± 1,3
Hiver	2,5 ± 1,2	6,3 ± 3,3	3,6 ± 1,8
Moyenne	2,0 ± 1,1	5,4 ± 3,0	2,9 ± 1,6

Tableau 1 : Concentrations massiques moyennes en poussières (exprimées en mg/m³) en fonction du stade physiologique et de la saison (source : Guinguand (N.), Qualité de l'air en bâtiment et stades physiologiques (18))

2. Les polluants bactériologiques.

Composés des bactéries, moisissures, endotoxines. Il est considéré que l'air en élevage porcin confiné est 1200 fois plus contaminé que l'air extérieur.

2.1 Bactéries

La présence de bactéries se mesure en Colonie Formant Unité (CFU). Les différents chiffres retrouvés concernant la concentration de bactérie sont variables, $1,25 \cdot 10^6$ CFU/m³ dont $0,5 \cdot 10^6$ CFU/m³ en fraction alvéolaire (19,22), $0,613 \cdot 10^6$ CFU/m³ à $1,246 \cdot 10^6$ CFU/m³ (23) ou $0,342 \cdot 10^6$ CFU/m³ plus récemment en 2012 dans une étude portant sur 14 élevages porcins intensifs en Pologne (24).

Les bactéries identifiées sont à 72% à Gram positif selon Lemay (19).

2.2 Endotoxines

Les endotoxines, issues de fragments de paroi de bactéries Gram négatif se mesurent en Unité d'Endotoxines par mètre cube d'air (UE/m³) en remplacement des dosages en ng/m³, avec un coefficient de conversion suivant $1 \text{ ng/m}^3 = 10 \text{ UE/m}^3$.

Les endotoxines sont présentes dans les milieux favorisant la présence des bactéries Gram négatif, dont les lieux où la présence d'excréments humains ou animaux sont présents (22).

- toxicologie aiguë

Les effets aigus des endotoxines sur la santé varient selon les concentrations d'exposition (25) tableau 2.

ng/m ³	UE/m ³	Effet clinique
10	100	Irritation des voies respiratoires
100	1000	Effets systémiques (fièvre, courbatures...)
200	2000	ODTS (syndrome toxique des poussières organiques)

Tableau 2 : Valeurs seuils pour les effets aigus des endotoxines (source INRS, GEHIN (D.), TC 136)

Les symptômes aigus apparaissent 4 à 5 heures après le début de l'exposition (BG) avec une forte probabilité de survenue ainsi Rosenberg (23) cite l'exemple d'une étude consistant à faire peser des porcs pendant 3 heures à 24 volontaires n'ayant jamais pénétré dans un élevage industriel porcin. 7 heures après le début du test tous les sujets

signalait une sensation de malaise, 19 d'entre eux présentaient des frissons, nausées et céphalées, 22 avait une température orale augmentée, la plus élevée atteignant 38,8°C.

- Toxicologie chronique

Les effets chroniques de l'exposition aux endotoxines sont essentiellement respiratoires, avec toux, expectoration, oppression thoracique, altération de la fonction respiratoire (25). Il y a cependant une théorie hygiéniste qui indiquerait un rôle protecteur des endotoxines vis à vis certaines pathologies allergiques voire cancérogènes(25).

Il n'y a pas de Valeur limite réglementaire en France, seuls les Pays-Bas en sont pourvus mais la technique de mesure utilise une norme AFNOR modifiée. La transposition de VLEP hors Pays-Bas est jugée délicate (25).

3. Les polluants chimiques

L'ambiance des élevages porcins en milieu confiné comporte un grand nombre de molécules chimiques, plus de 130 identifiées (2,3,9). Parmi ces molécules 4 gaz sont identifiés comme pouvant présenter un danger : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'ammoniac (NH₃), le sulfure d'hydrogène (H₂S).

Le dioxyde de carbone est issu essentiellement de la respiration animale.

Le méthane, l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène sont issus de la dégradation anaérobie du lisier stocké en fosse.

En théorie, la dégradation ultime du lisier dans des conditions idéales aboutie à de l'eau, du méthane et de la matière organique stabilisée (26), mais ces conditions (température, PH, matière sèche, oxygène dissous) n'étant pas réunies, la dégradation est incomplète et s'accompagne d'autres composés comme l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène.

3.1 Dioxyde de carbone

3.1.1 Données générales

Numéro CAS 124-38-9. Plus lourd que l'air, densité relative par rapport à l'air 1,52, inodore, incolore. Son taux normal dans l'air varie de 0,03% à 0,06% en volume (27).

La VLEP réglementaire est indicative, la VME est de 5000ppm soit 9000mg/m³ (21), la valeur a été mise à jour en 2007.

3.1.2 Toxicologie

- Toxicologie aiguë

Les premiers symptômes apparaissent lors de l'inhalation d'une atmosphère contenant 2% de CO₂ (20000 ppm) se traduisant par une augmentation de l'amplitude respiratoire. À 10% il y a des troubles visuels, tremblements, hypertension artérielle. C'est à 20% que les signes d'aggravation à type de dépression respiratoire, coma, convulsion, mort apparaissent.

- Toxicologie chronique

L'exposition chronique à des valeurs inférieures à 1% (10000 ppm) n'entraîne pas de modification des paramètres biologiques, à partir de 1% augmentation de la pression de CO₂ artérielle en raison de l'hyperventilation.

3.1.3 Données métrologiques de la littérature

Guinguand (28) objective une valeur dans l'air d'une porcherie d'engraissement à 2400 ppm. Le dioxyde de carbone en élevage porcin est principalement issu du métabolisme respiratoire animal, seul un article canadien (29) fait mention d'une étude ayant relevé des taux de dioxyde de carbone au delà de 5000 ppm dans 24% des élevages porcins étudiés, pendant des périodes hivernales où la température hivernale était entre -13°C et -16°C à un moment où la ventilation est abaissée.

Le dioxyde de carbone n'est pas dans la littérature étudiée une problématique santé en élevage porcin, mais environnementale en raison de son effet de serre.

3.2 Méthane

3.2.1 Données générales

Numéro CAS 74-82-8. Plus léger que l'air, densité relative par rapport à l'air : 0,6, inodore, incolore. Limites d'explosivité en volume % dans l'air : 5-15. (30)

Il n'y a pas de VLEP réglementaire pour le méthane. La concentration moyenne du méthane dans l'air est de 1,7ppm (31), la concentration de méthane dans un espace clos doit être inférieure à 5000ppm (équivalent à 10% de la limite inférieure d'explosivité). Le principal danger est l'explosivité du méthane (19), la valeur objectivée en élevage porcin 20 ppm (29) est bien inférieure à cette limite.

En dehors des processus de production de méthane associés à une porcherie il n'y a pas d'éléments de la littérature étudiée faisant part d'une problématique santé liée au méthane dans l'atmosphère des élevages porcins confinés.

3.3 Ammoniac (NH₃)

3.3.1 Données générales

Numéro CAS 7664-41-7. Plus léger que l'air, densité relative par rapport à l'air : 0,59. Incolore, odeur piquante. Facteur de conversion 1mg = 1,41ppm (32,33).

Le seuil olfactif de détection en général a une valeur minimale de 3,9 ppm pour les individus sensibles à plus de 100 ppm. La valeur moyenne est de 46,8 ppm. (33)

La VLEP réglementaire de l'ammoniac est contraignante(21). Les valeurs ont été mises à jour en 2006. La VME est de 10 ppm, la VLE ou VLCT de 20 ppm.

La production d'ammoniac (NH₃) est liée à la dégradation de l'urée et de composés azotés présents dans l'urine par une enzyme, l'uréase, présente dans les fèces. Cette réaction débute dès la mise en contact de l'urine avec les fèces.

L'ammoniac sous forme gazeuse (NH₃) dans l'air est en équilibre avec l'ammonium (NH₄⁺) sous forme liquide dans le lisier.

Le processus de volatilisation de l'ammoniac, transfert de l'ammoniac dans le lisier en ammoniac gazeux dans l'atmosphère dépend de multiples facteurs (PH, température du lisier, vitesse de l'air au dessus du lisier, superficie du lisier exposé à l'air, activité enzymatique) c'est par ailleurs le composé odorant principal dans une porcherie (26).

3.3.2 Toxicologie

Selon l'INERIS (33) : l'ammoniac n'a d'effet ni cancérigène ni sur la reproduction ni le développement. Chez l'homme l'ammoniac inhalé est retenu au niveau des voies respiratoires supérieures, se dissolvant dans le mucus des vois aériennes, entraînant une action caustique avec irritation voire brûlure à forte dose. La toxicité oculaire de l'ammoniac provoque larmoiement, hyperhémie conjonctivale, ulcérations conjonctivales et cornéennes. Une cataracte ou un glaucome peut apparaître jusqu'à 10 jours après l'exposition.

- toxicologie aiguë :

La CL50 chez la souris, varie de 10150 ppm pour une exposition de 10 minutes à 4837 ppm pour une heure (32). Chez l'homme l'exposition à des niveaux d'exposition de 2500 à 4500 ppm entraînent la mort en 30 minutes (33) par détresse respiratoire.

Des expositions importantes aiguës peuvent entraîner le développement d'un syndrome de dysfonctionnement réactionnel des voies respiratoires.

De manière générale l'ammoniac provoque des irritations des muqueuses respiratoires et oculaires pas action caustique (tableau 3) (34).

Dose		Signes et Symptômes
mg/m ³	ppm	
35	50	Irritation oculaire, nasale et gorge (2h d'exposition)
70	100	Irritation rapide oculaire et respiratoire
174	250	Tolérable par la plupart des personnes (30-60 min exposition)
488	700	Irritation immédiate des yeux et de la gorge
>1045	>1500	Oedème pulmonaire, toux, laryngospasme
1740-3134	2500-4500	Mortel (30 min.)
3480-6965	5000-10000	Rapidement mortel par obstruction des voies aériennes

Tableau 3 : Résumé des principaux effets par exposition aiguë à l'ammoniac. Source Ammonia toxicological overview, UK government (34)

Les seuils des effets toxiques (35) montrent que des concentrations importantes d'ammoniac sont nécessaires pour devenir mortelles (tableau 4). Les seuils des effets irréversibles ont été déterminés par le groupe de travail de l'INERIS (35) et mettent en évidence des valeurs entraînant chez les individus une forte irritation respiratoire, des effets incapacitants et pouvant les exposer à des effets irréversibles tel un syndrome de Brooks.

Temps (min.)	Concentration	
	mg/m ³	ppm
1	17710	25300
3	10290	14700
10	5740	8200
20	4083	5833
30	3337	4767
60	2380	3400

Tableau 4 : seuils des effets létaux ammoniac, source INERIS (35)

Temps (min.)	Concentration	
	mg/m ³	ppm
1	1050	1500
3	700	1000
10	606	866
20	428	612
30	350	500
60	248	354

Tableau 5 : seuils des effets irréversibles ammoniac, source INERIS (35)

Temps (min.)	Concentration	
	mg/m ³	ppm
1	196	280
3	140	200
10	105	150
20	84	120
30	77	110
60	56	80

Tableau 6 : seuils des effets réversibles ammoniac, source INERIS (35)

- Toxicologie chronique

L'exposition prolongée et répétée à l'ammoniac entraîne une tolérance, rehaussant le seuil de perception olfactif (32, 34).

La littérature enseigne que l'exposition chronique à l'ammoniac pure est peu évaluée.

L'Institut National de L'EnviRonnement Industriel et des risqueS (INERIS) (33), différentes institutions, Américaine Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (36) et Anglaise dans l'étude de la toxicité chronique de l'exposition à l'ammoniac (34) font part de l'étude de Holness (37) étudiant des ouvriers d'une usine de bicarbonate de sodium qui montre l'absence d'effet pulmonaire (symptômes et fonction pulmonaire) pour une exposition moyenne de 12,2 ans à une concentration moyenne de 9 ppm, néanmoins l'exposition à l'ammoniac est corrélée avec une majoration d'une éventuelle symptomatologie préexistante (toux, irritation oculaire, écoulement nasal).

Les institutions anglophones mentionnent par ailleurs l'étude de Ballal, 1998 (38) comparant deux équipes d'ouvriers d'une usine de fertilisant exposées à l'ammoniac et une population contrôle non exposée. La première équipe A est exposée à des valeurs moyennes supérieures à 25,4 ppm (de 2,82 ppm à 183,86 ppm). La deuxième équipe B à des taux moyens inférieurs à 25 ppm (de 0,03 ppm à 9,87 ppm). Seule l'exposition à l'ammoniac supérieure à 25,4 ppm (25,4 ppm étant la valeur limite Américaine) de l'équipe A, après analyse en régression logistique est significativement corrélée avec des symptômes pulmonaires toux, expectoration, dyspnée accompagnée de sifflement, d'asthme bronchique.

L'ATSDR ne retient pas les études d'exposition à l'ammoniac réalisées en élevage porcin intensif montrant une diminution des capacités pulmonaires en raison de l'exposition concomitante avec d'autres toxiques, poussières et endotoxines (36 p19). La contribution de l'ammoniac aux symptômes respiratoires étant déclarée « unclear » incertaine (36 p16).

3.3.3 Données métrologiques de la littérature

Les concentrations d'ammoniac dans l'ambiance des élevages porcins retrouvées dans la littérature étudiée montre une grande latitude des valeurs. Seules les données les plus récentes ont été prises en compte en relation avec l'âge moyen des bâtiments d'élevage qui est de 15 ans.

Ainsi :

- Guingand et al, 1998 (28) d'une part considère dans son article que « la teneur en ammoniac des porcheries, quelque soit le stade physiologique considéré dépasse rarement 30 ppm ». Elle fait part des teneurs en ammoniac, d'un système à extraction basse, dans l'air ambiant en fonction du débit de renouvellement d'air suivant :tableau 7.

débit	Débit élevé moyen 25,7 m ³ /h/porc	Débit faible moyen 9,3 m ³ /h/porc
Concentration ammoniac ambiance. ppm	8,6	29,3

Tableau 7 : concentration en ammoniac dans l'air en fonction du débit de renouvellement d'air. Source Guingand et al, 1998 (28)

- Massabie et al, 1999 (39) dans une étude sur l'incidence des systèmes d'extraction et du débit de renouvellement d'air en porcherie d'engraissement sur les concentrations en ammoniac et les performances des animaux, objective des mesures d'ambiance de NH₃ à 1,50 m résumées dans le tableau 8.

Débit	Système extraction haute		Système extraction basse	
	Débit élevé 15 m ³ /h/porc à 40 m ³ /h/porc	Débit faible 5 m ³ /h/porc à 16 m ³ /h/porc	Débit élevé 15 m ³ /h/porc à 40 m ³ /h/porc	Débit faible 5 m ³ /h/porc à 16 m ³ /h/porc
Concentration moyenne à 1,5 m	19	27	10,4	22

Tableau 8 : Concentrations moyennes d'ammoniac à 1,5 m (converties en ppm) en fonction du type et du débit de ventilation. Source Massabié et al, 1999 (39)

- Guingand , 2000 (40), étudiant l'influence de la vidange des préfosse sur l'émission d'ammoniac, objective des valeurs d'ambiance de NH₃ à 16,5 ppm ; 15 ppm ; 19 ppm que la salle soit vidangée respectivement tous les 15 jours, une seule fois, ou jamais la durée d'élevage. La ventilation dans les salles est

dynamique avec entrée d'air haute et extraction basse, la ventilation est identique entre les salles mais le débit n'est pas indiqué.

- Degré et al, 2001, (41) citant une étude de Guingand de 1997 « Mesure de gaz odorants émis par une porcherie d'élevage de 40 porcs à un taux de ventilation de 1500 m³/h et avec stockage sous les animaux » soit environ 37,5 m³/h/porc, fait part de concentrations mesurées dans l'air de 1 mg/m³ à 27 mg/m³ (soit 1,4 ppm à 38 ppm)
- Guingand et al, 2003, (18) lors d'une étude sur la qualité de l'air et s16,5-tades physiologiques , montre des valeurs différentes d'ammoniac dans l'atmosphère d'élevage en fonction du stade physiologique et de la saison (donc ventilation). Amplitude toutes variables confondues de 5,4 ppm à 12,7 ppm : tableau 9. Toutes les salles sont équipées d'une ventilation dynamique avec arrivée par le plafond et extraction basse avec ou sans cheminée.

[NH3] ppm / débit	Eté	Hiver	Moyenne
Maternité	5,4 ± 2,9	11,5 ± 5,2	8,9 ± 5,3
Débit ventilation m ³ /h/porc	263 ± 43	110 ± 21	188
Post-sevrage	4,4 ± 2,7	7,8 ± 2,9	6,3 ± 2,9
Débit ventilation m ³ /h/porc	22,2 ± 4,6	13,5 ± 3,2	18,3 ± 6
Engraissement	8,3 ± 5,4	12,7 ± 7,2	10,2 ± 6,6
Débit ventilation m ³ /h/porc	35 ± 11	24 ± 7	31 ± 1

tableau 9 : concentration en ammoniac (ppm), débit de ventilation dans l'ambiance en fonction du stade physiologique. Source Guingan et al, 2003 (18)

- Gérard et al, 2003 (42) en partenariat avec la Mutualité Sociale Agricole dans une étude prospective dans le département des Côtes- d'Armor dont le but était de déterminer le risque respiratoire lié à l'élevage intensif de porcs et de volailles, affirme que l'étude métrologique des bâtiments concernant l'ammoniac montrait une exposition des salariés très inférieure à 25 ppm (VME en 2003) sans pour autant donner de chiffre.
- Lagadec et al en 2012 (20) voulant évaluer l'efficacité environnementale de différentes techniques d'évacuation des déjections en les étudiant en station d'élevage expérimentale et commerciale, montre des valeurs de concentration d'ammoniac dans l'ambiance très variables à système équivalent ou non. Tous les élevages sont en engraissement.

Parmi les 7 stations expérimentales la concentration en NH₃ varie de 9 mg/m³ à 14,2 mg/m³ (soit 12,7 ppm à 20 ppm). Pas de discrimination par saison effectuée. Les débits de ventilation ne sont pas indiqués (tableau 10).

En ppm	Concentration NH ₃ dans l'ambiance	Type de ventilation
Lisier stocké sous caillebotis	19,5	Surpression extraction sous caillebotis
Raclage à plat	12,7	Extraction basse
Gisoir drainant	19	Dépression extraction haute
Fond de fosse ondulé	17,9	Dépression extraction haute
Raclage en V	14,5	Surpression extraction basse
couloirs	20	Dépression extraction haute

tableau 10 : concentrations d'ammoniac (converties en ppm) dans l'ambiance des élevages expérimentaux. Source Lagadec et al. (20)

Dans les élevages commerciaux la concentration de NH₃ varie en période chaude de 4,8 mg/m³ à 19,7 mg/m³ (soit 6,7 ppm à 27,7 ppm) et en période froide de 7,5 mg/m³ à 26,4 mg/m³ (soit 10,5 ppm à 37 ppm) . A noter que pour un même système d'évacuation (RA1 et RA2) la variation est du simple au double. Les débits de ventilation ne sont pas indiqués. Pas d'explication donnée concernant la différence de concentration entre RA1 et RA2 tableau 11.

En ppm	Concentration NH ₃		Type de ventilation
	Période	Chaude	
RA1	26	26,2	Extraction basse
RA2	7,7	17	Extraction basse
RA3	6,8	10,5	Extraction basse
HY1	27,7	37	Extraction haute
HY2	14,5	27,9	Extraction haute

tableau 11: concentrations d'ammoniac (converties en ppm) dans l'ambiance des élevages commerciaux, RA : évacuation par raclage à plat, HY : évacuation par système hydraulique. Source Lagadec et al (20).

Les élevages expérimentaux et commerciaux avec renouvellement d'air par extraction basse obtiennent en général de meilleurs résultats de concentration de NH₃ dans l'ambiance que les bâtiments avec extraction haute.

Résumé des concentrations d'ammoniac dans l'ambiance des élevages objectivées dans les articles (tableau 12) :

Auteur	< 10 ppm	10 ppm ≤ < 20 ppm	20 ppm ≤
Guingand et al, 1998 (28)	8,6		29,3
Massabie et al, 1999 (39)		10,4 19	22 27
Guingand , 2000 (40)		16,5 15 19	
Degré et al, 2001, (41)	1,4		38
Guingand et al, 2003, (18)	5,4 4,4 8,3 7,8	11,5 12,7	
Gérault et al, 2003 (42)	?	?	?
Lagadec et al en 2012 (20)	7,7 6,8	19,5 12,7 19 17,9 14,5 17 10,5 14,5	20 26 26,2 27,7 37 27,9
Npmbre de données	8	15	10

tableau 12: résumé des concentrations en ammoniac relevées dans les articles

3.3.4 Accidentologie

La littérature ne montre pas d'accident lié à l'ammoniac en élevage porcin.

3.4. Sulfure d'hydrogène (H₂S)

3.4.1 Données générales

Numéro CAS : 7783-06-4, plus lourd que l'air, densité par rapport à l'air 1,19. Gaz incolore, odeur fétide caractéristique « d'oeuf pourri » (43), facteur de conversion : 1 mg = 0,7 ppm.

Le seuil olfactif de détection est très faible, dès une concentration de 0,02 à 0,1 ppm voire 0,008 ppm (44) mais il est absent à forte concentration dès 100 ppm (43) par anesthésie olfactive.

Le sulfure d'hydrogène possède une limite d'explosivité dans l'air en volume de 4% à 46% avec une température d'auto-inflammation assez basse de 250°C (43,44).

La VLEP réglementaire est contraignante (21) les valeurs ont été mises à jour en 2012. La VME est de 5 ppm, la VLE ou VLCT de 10 ppm.

Le sulfure d'hydrogène se produit à partir de 10 jours de stockage de lisier par dégradation anaérobie de composés organiques soufrés, par des bactéries sulfato-réductrices. La particularité de l'H₂S est de rester stocké à l'intérieur du lisier sous forme de petites bulles qui s'échappent dans l'air lors de l'agitation du lisier (26).

Les marqueurs biologiques : - Les thiosulfates urinaires apparaissent après un temps de latence de 17h et nécessitent un prélèvement urinaire sur 24h. Le taux est normalement inférieur à 0,003mmol/L. Ils sont seulement un indicateur d'exposition (43,46).

- Les ions sulfures plasmatiques, permettent également un diagnostic positif d'exposition si ils sont supérieurs à 1mg/L, ils ne sont pas corrélés à la gravité.

3.4.2 Toxicologie

Le sulfure d'hydrogène est un inhibiteur de la cytochrome-oxydase entraînant un blocage de la chaîne respiratoire mitochondriale, provoquant à terme une hypoxie. Les organes particulièrement sensibles, oxygène-dépendant, cœur, poumon, cerveau, sont atteints de lésions hypoxiques.

Il n'y a pas d'effet cancérigène ni sur la reproduction.

L'intoxication aiguë à l'hydrogène sulfuré entraîne une symptomatologie variable selon la dose d'exposition.

- toxicologie aiguë

On distingue la forme suraiguë et aiguë.

Pour la forme suraiguë, il s'agit de très fortes expositions au delà de 1000 ppm, connues sous le nom de « coup de plomb égoutiers », entraînant la perte de connaissance dès la première inspiration. La mort survient en 5-10 min par arrêt cardiaque en l'absence de réanimation dès la phase d'apnée. L'installation d'un oedème pulmonaire secondaire est fréquemment observé ainsi que des lésions neurologiques.

La forme aiguë, pour des concentrations de 300 ppm à 1000 ppm.

À partir de 500 ppm, rapide perte de connaissance avec coma parfois convulsif, oedème pulmonaire, trouble rythmique (tachycardie ou bradycardie), en l'absence d'interruption de l'exposition la mort survient rapidement. En cas de réanimation, la récupération est rapide avec cependant de possibles séquelles neurologiques ou pulmonaire avec fibrose.

A partir de 250 ppm un oedème lésionnel pulmonaire peut apparaître pouvant évoluer vers un syndrome de détresse respiratoire aigu (46).

A distance des intoxications aiguës, des séquelles neurologiques ont pu être observées sous la forme de troubles mnésiques, de tremblements, d'ataxie, d'altération de la vision, de l'audition et de démence (47).

Les formes discrètes irritatives (oculaires, respiratoires) arrivent pour des concentration à partir de 100 ppm (43).

Récapitulatif des effets du sulfure d'hydrogène (tableau 13)

H2S ppm	Effets sur les humains
0,005	A peine détectable
4	Facilement détectable, odeur modérée
10	Irritation oculaire
27	Odeur inconfortable
100	Toux, irritation oculaire, perte de l'olfaction après 2-15 min. d'exposition
200-300	Hyperhémie conjonctivale, irritation respiratoire après 1 heure
500-700	Perte de conscience et mort possible en 30-60 min.
800-1000	Perte de connaissance rapide, arrêt respiratoire et mort
1000	Paralysie diaphragmatique dès la première inspiration, asphyxie rapide

tableau 13: hydrogène sulfuré, effets selon les concentrations. Source : traduit de l'ASABE (45)

Les seuils d'effets létaux et irréversibles déterminés en 2012 par l'INERIS sont les suivants :

Temps (min.)	Concentration	
	mg/m ³	ppm
1	2129	1521
10	963	688
20	759	542
30	661	472
60	521	372

tableau 14: seuils d'effets létaux H2S. Source INERIS (47)

Temps (min.)	Concentration	
	mg/m ³	ppm
1	448	320
10	210	150
20	161	115
30	140	100
60	112	80

tableau 15: seuils d'effets irréversibles H₂S. Source INERIS (47)

L'hospitalisation pour surveillance est recommandée après une intoxication aiguë, même après amélioration initiale, en raison du risque de survenue d'un oedème aigu pulmonaire retardé (44).

Chez le porc les expositions à 980 ppm pendant 100 min et 1500 ppm pendant 20 min entraînent la mort (48), mais ces valeurs données par l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) ne sont basées que sur un seul animal. L'american society of agricultural and biological engineers (ASABE) indique la survenue de la mort pour une exposition à partir de 800 ppm sans donner de temps d'exposition (45).

- toxicologie chronique

L'exposition chronique à l'hydrogène sulfuré a été peu étudiée, selon la littérature on retrouve des manifestations variables de symptômes subjectifs malaise, céphalée, asthénie, troubles de la mémoire, nausée, anorexie (47,43).

Une étude observant l'exposition chronique d'habitants, essentiellement d'ethnie Maorie, à de faibles taux d'hydrogène sulfuré (de 14 ppb (partie par milliard) à 284 ppb) de la ville de Rotorua en Nouvelle-Zélande est interprétée différemment : augmentation significative du taux de mortalité lié à une pathologie respiratoire (après ajustement statistique concernant l'ethnie) pour l'INERIS (49) à une absence de causalité pour l'ATSDR (50 p33) qui cite les auteurs de l'étude, concluant : "no convincing evidence was found in this study of elevated rates of mortality in Rotorua compared with the rest of New Zealand."

Cependant un article récent en pathologie professionnelle de Vidal et al, 2012 (51) nous renseigne sur les effets d'une exposition chronique et subaiguë d'H₂S chez 10 travailleurs de station d'épuration des eaux usées de 2005 à 2010.

Les 10 travailleurs (7 d'un même site, 3 d'une autre site) soumis à des expositions chroniques d'H₂S supérieures à la VLEP (mesures sur 8 heures réalisées par l'entreprise mais ces valeurs n'ont pas été récupérées par le service de consultation de pathologie professionnelle) ainsi qu'à des pics d'exposition en fonction des activités professionnelles. Les salariés ont été pris en charge dans le service de consultation professionnelle à la demande du médecin du travail face à une altération des explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) et/ou des manifestations cliniques respiratoires à type de dyspnée d'effort, de toux. Les durées d'exposition varient de 1 à 5 ans.

Les explorations complémentaires ont montré un test à la métacholine positif chez les 10 personnes.

Le diagnostic d'asthme a été retenu chez les dix travailleurs et le caractère d'asthme professionnel en raison de la rythmicité des symptômes et des EFR ou test à la métacholine positifs chez 7 salariés. 6 d'entre eux ont accepté la reconnaissance en maladie professionnelle (tableau n°66 du régime général de la sécurité sociale).

Le sulfure d'hydrogène n'est pas reconnu comme une substance cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction (CMR), mais la fiche toxicologique (49) indique que chez les femmes exposées de façon chronique, le taux d'avortements spontanés serait un peu élevé que dans la population générale.

3.4.3 Données métrologiques de la littérature

- Dans l'atmosphère

En l'absence de brassage de lisier l'hydrogène sulfuré n'est en général pas ou très faiblement détecté dans l'atmosphère des porcheries (26,28,41), il reste contenu dans des bulles dans le lisier et peut même être non détecté tant que la croûte qui stagne au dessus du lisier n'est pas modifiée (52).

L'agitation du lisier, dans le but de le liquéfier pour faciliter son évacuation des fosses peut libérer de grandes quantités de sulfure d'hydrogène (5,29) dans la zone de respiration des porcs ou des humains, les chiffres cités variant de 130 à 1000 ppm (5,45).

Une étude de Swestka, 2010 (53) menée sur la répartition du dégagement d'hydrogène sulfuré au cours du brassage du lisier dans des élevages porcins intensifs sur caillebotis est intéressante à plusieurs points.

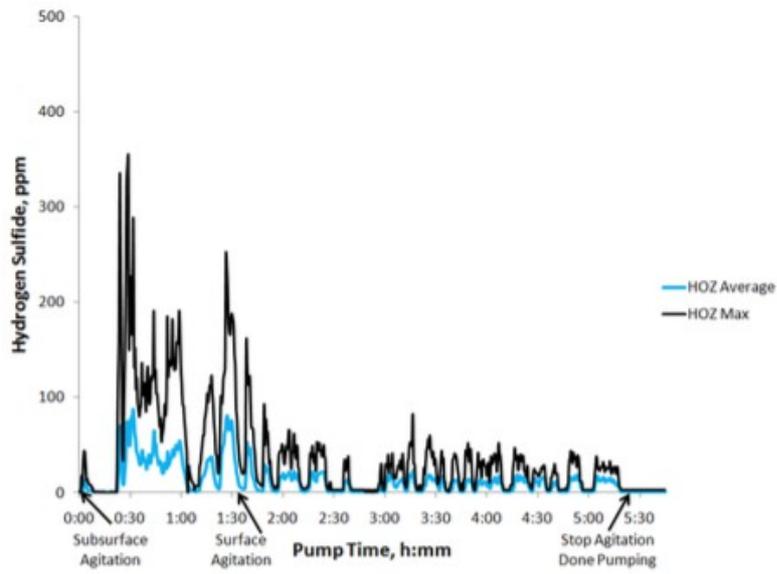
Les mesures ont été effectuées à 0,1m (zone d'évolution animale ou Animal Occupied Zone) et 1,5 m (zone d'évolution humaine ou Human Occupied Zone), dans trois stabulations dont une occupée par des porcs. Les brassages de lisier étaient réalisés avec des pompes projetant du lisier en surface ou plus en profondeur.

Le brassage du lisier durait entre 4 et 5h à forte puissance dans les unités sans porcs et près de 8h à plus faible puissance dans celle avec les animaux.

Les mesures ont montré des taux d'H₂S jusqu'à 350 ppm à hauteur d'humain dans une des bandes sans porc (figure 7), 200 ppm pour l'autre.

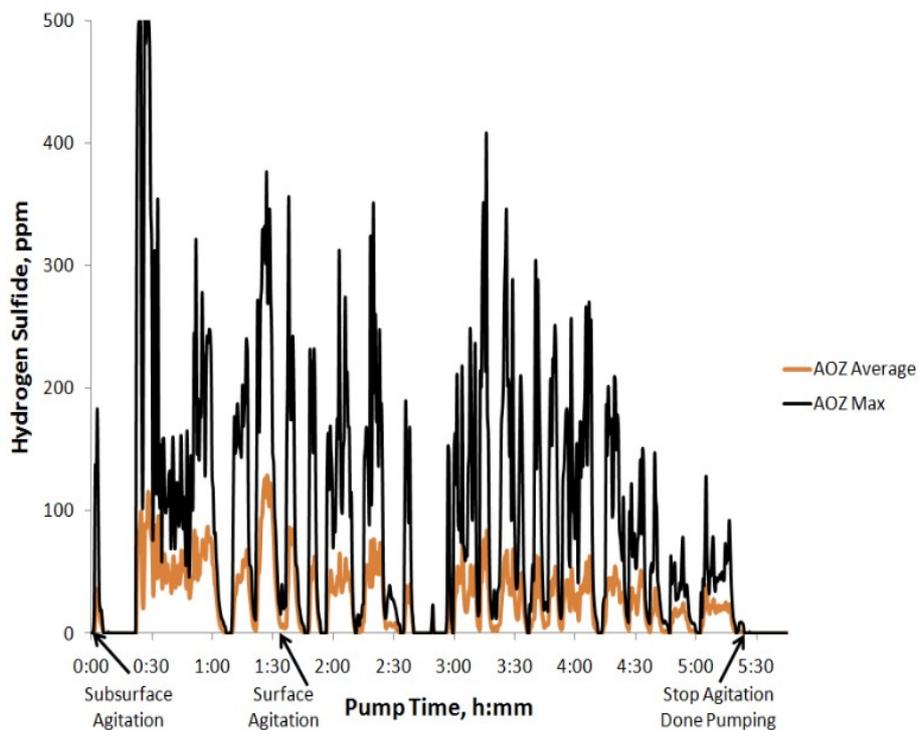
Plus de 500 ppm (figure 8) à hauteur d'animaux dans les deux cas sans animaux (les compteurs n'allaient pas au delà de 500 ppm)

L'hydrogène sulfuré étant un gaz plus lourd que l'air, les concentrations augmentent à l'approche du lisier en mouvement.



(a) Human occupied zone

figure 7 : concentration H₂S moyenne et maximum en zone d'évolution humaine. Source SWESTKA, 2010 (53)



(b) Animal occupied zone

Figure 8 : concentration moyenne et maximum en zone d'évolution animale. Source SWESTKA, 2010 (53)

Les dégagements d'hydrogène sulfuré débutaient moins de 30 minutes après le début du brassage.

Dans l'unité avec les porcs, où l'agitation du lisier a été effectuée à plus faible puissance et plus longue durée, les concentrations étaient très inférieures, la moyenne ne dépassant pas 50 ppm (figure 9).

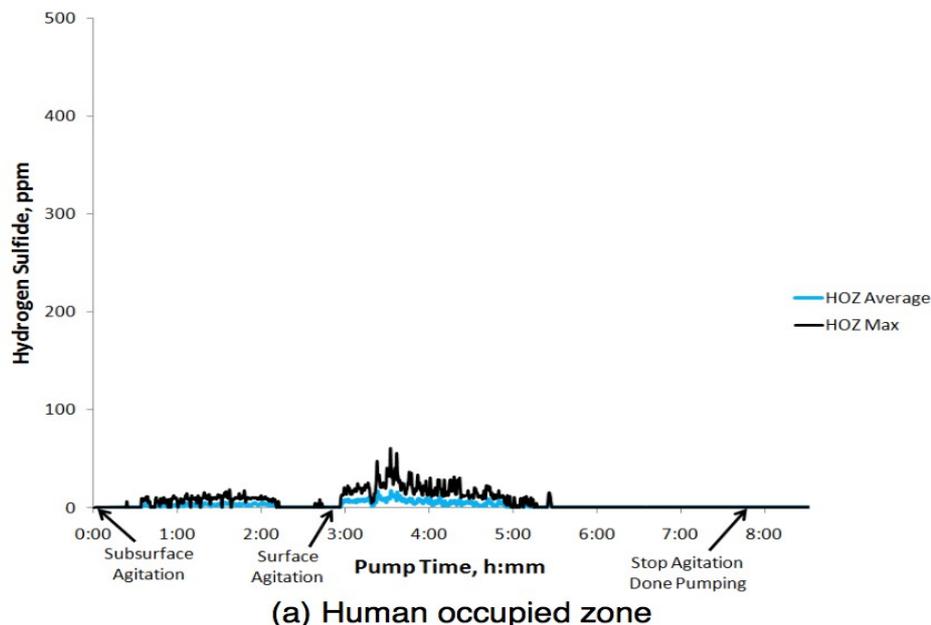


figure 9 : Concentration moyenne et maximum à hauteur d'humain. Source SWESTKA, 2010 (53)

L'agitation de lisier susceptible de provoquer un dégagement de sulfure d'hydrogène. La rupture d'une vis d'alimentation d'une case d'élevage d'engraissement de porc à fait chuter 500 à 1000 kg d'aliments dans la préfosse sous les caillebotis. Cela à suffit pour provoquer le décès de 30 porcs de 50 kg par émanation de sulfure d'hydrogène (54).

- Dans les fosses ou préfosse.

C'est là toute la problématique de l'hydrogène sulfuré que l'on peut rencontrer aussi bien en agriculture que partout ailleurs où il y a un stockage d'effluents avec métabolisme anaérobie.

Une agitation du lisier par écoulement des eaux de lavage du bâtiment dans la préfosse peut être à l'origine d'un dégagement d'H₂S (55).

Le simple écoulement par gravité du lisier d'une préfosse vers une fosse de stockage extérieure (56) va entraîner un dégagement d'H₂S et le gaz étant plus lourd que l'air il va rester à la surface du lisier.

Comme vu précédemment toute agitation peut suffire à provoquer un dégagement de sulfure d'hydrogène qui peut stagner à la surface du lisier sous les caillebotis. La vidange d'une fosse peut laisser le sulfure d'hydrogène dans le volume de la fosse, rendant l'atmosphère toxique.

Même si les salles d'élevage peuvent être pourvues d'une ventilation avec extraction basse, c'est à dire une extraction par une cheminée sous les caillebotis, cela n'est en aucun cas la technique normalisée pour travailler en espace confiné qui impose une ventilation de l'espace par insufflation (57).

Dans le cadre de ce mémoire, j'ai effectué des dépistages de présence d'H₂S en surface de fosses sous caillebotis. Le matériel est un détecteur individuel d'H₂S utilisé par les pompiers. Il est réglé avec une pré alarme à 5 ppm et une alarme à 10 ppm. Le détecteur est descendu au bout d'un manche à 5 cm de la surface du lisier en plusieurs points des salles. Les fosses avait été partiellement vidangées quelques semaines auparavant, elles étaient à mi volume que ce soit dans la maternité ou dans la salle d'insémination.

La salle d'insémination contient 200 truies, hauteur de préfosse de 2 m, elle est pourvue d'une ventilation avec arrivée d'air par le plafond et aspiration sous caillebotis. Le détecteur été positionné dans la cheminée d'évacuation, au milieu et au 4 coins de la salle sous les caillebotis et n'a jamais sonné.

La maternité contient 80 truies, hauteur de préfosse de 60 cm, dispose d'une ventilation volumétrique avec évacuation haute (afin d'éviter le refroidissement des porcelets), l'espace sous les caillebotis n'est donc pas ventilé, le détecteur également placé au milieu, aux 4 coins de la salle sous les caillebotis n'a jamais sonné.

La fosse extérieure, d'un diamètre de 2 m, 5m de profondeur, pleine, non couverte, quelques bulles remontant à la surface : pas de déclenchement du détecteur.

De cette expérience empirique on peut seulement conclure que l'H₂S, s'il est présent est inférieur, au seuil de pré alarme de 5 ppm.

3.4.4 Accidentologie

Les accidents liés à l'exposition au sulfure d'hydrogène sont bien connus, les statistiques de la MSA de 2010 à 2013 font part de 5 décès par asphyxie (H₂S ou CO₂) dans des fosses à lisier ou en cuve à vin (58,59).

Une recherche internet des articles de journaux relatant les accidents en relation avec une fosse à lisier sans distinction de type d'exploitation (tableau 16) montre à la lecture des faits qu'en général les accidents d'exposition au gaz arrivent après une descente volontaire dans la fosse pour un nettoyage ou un déblocage du système d'évacuation (60,61,62,63,64,65) sauf pour un cas où il y a eu une chute dans la fosse vide entraînant alors une exposition (66). Lorsqu'il y a plusieurs victimes c'est en raison du secours apporté par les témoins qui s'intoxiquent à leur tour (61,63,64,65).

Les autres accidents avec chute se réalisent lorsque la fosse est pleine, rupture d'une plaque ciment au dessus d'une fosse enterrée (67), un accident au cours de raclage de lisier aux abords de la fosse à lisier (68). Pas d'indication si décès par asphyxie ou par noyade. Le dernier cas est une chute avec le tracteur dans la fosse à lisier au cours de travaux de raclage de lisier (69), la victime restant prisonnière de la cabine du tracteur.

date	Localisation	Motif accident	Nombre victimes	décédés
08/04/15	Benoîtville, Manche (60,61)	Exposition et sur-accident	2	1
13/04/15	Saint-divy, Finistère (66)	Exposition après chute	1	0
19/02/15	Edon, Charentes (67)	Chute	1	1
26/07/14	Saint-jean-de-nay, Loire (69)	Chute	1	1
21/03/14	Montaut , Landes (62)	Exposition	1	1
15/04/14	Chemazé, Mayenne(68)	Chute	1	1
26/04/13	Fougerolles, Haute-Saône (63)	Exposition et sur-accident	3	1
27/12/11	Gauchin-le-gal, Nord (64)	Exposition et sur-accident	2	1
30/03/11	Sainte eulalie, Lozère (65)	Exposition et sur-accident	2	2
Total			14	9

tableau 16: accidents dans fosse à lisier

La littérature nous enseigne grâce à l'étude d'accidents de personnes descendus dans une fosse pour nettoyage ou déblocage du système d'évacuation qu'ils étaient déjà descendus dans les fosses, dans les mêmes circonstances sans ressentir de malaise (55). La fausse sécurité ressentie lors des précédentes descentes n'encourage pas à la précaution. Ainsi ce cas décrit par la Direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt (70) de la Bretagne montrant qu'un intervenant (soit le salarié soit l'employeur) descendait une fois par mois dans une fosse intermédiaire (entre les préfossees et la fosse générale) de 3m de profondeur pour effectuer un curage de buse jusqu'à ce qu'un jour les conditions soient réunies pour que le sulfure d'hydrogènes soit en quantité suffisante pour provoquer le décès du salarié qui a été retrouvé face contre le lisier.

Il est fait mention de mortalité animale par exposition au gaz lors du brassage du lisier en porcherie, ces cas de décès sont connus (annexe 1,54) mais il n'y a pas de statistique objectivée.

4 Discussion

A la question de la toxicité des gaz présents dans l'atmosphère des élevages porcins parmi les 4 gaz ayant un caractère toxique, le méthane et le dioxyde de carbone ne sont pas présents de façon suffisamment importante en élevage porcin pour présenter un danger.

Ce sont les deux derniers gaz qui retiennent l'attention en raison d'une part de leurs VLEP réglementaires contraignantes et d'autre part de leurs effets sur la santé.

1 L'ammoniac

L'ammoniac est la cause de la symptomatologie « piquante », irritative en fait, ressentie initialement par les sapeurs-pompiers au cours de l'intervention. Par contre pour le salarié ou l'employeur dont le travail impose une présence quotidienne sur les lieux cette sensation d'irritation peu disparaître en raison d'une accoutumance.

Les concentrations d'ammoniac dans l'ambiance des élevages sont extrêmement variables en fonction des études (récapitulatif tableau 12) : de 1,4 ppm à 38 ppm.

Parmi les 33 valeurs données dans les articles (tableau 11), seules 8 sont en dessous de la VME. 25 la dépassent dont 10 dépassent la VLECT à 20 ppm. Gérault et al (42) en 2003 indiquent que les teneurs en ammoniac des élevages sont inférieures à la VME de l'époque (25 ppm), elles ne seraient actuellement plus en accord avec une VME à 10 ppm. L'ancienneté éventuelle des valeurs, qui insinuerait des conceptions anciennes des bâtiments, n'est pas à mettre en cause puisque l'étude la plus récente, Lagadec et al (20) de 2012 réalisée dans des stations expérimentales et commerciales objective seulement 2 mesures sur 16 effectuées en dessous de la VME. Parmi les autres valeurs 14 sont au delà de la VME dont 6 au delà de la VLCT. Etrangement aucune valeur issue des stations expérimentales n'est au norme (tableau 9).

Les systèmes de ventilation sont des éléments déterminant dans la qualité de l'ambiance en élevage porcin. Les concentrations les moins élevées en ammoniac sont objectivées avec des systèmes de ventilation à arrivée d'air par le plafond et extraction basse. Efficacité relative car sur 22 valeurs seules 7 sont en dessous de la VME (6 en haute ventilation et 1 seule en basse ventilation). Tableau 17

Article identifiant extraction basse	concentration ammoniac ppm	Débit ventilation élevé/faible si noté
Guingand et al, 1998 (28)	8,6 29,3	élevé 25,7 m ³ /h/porc faible 9,3 m ³ /h/porc
Massabie et al, 1999 (39)	10,4 22	élevé 15 m ³ /h/porc à 40 m ³ /h/porc faible 5 m ³ /h/porc à 16 m ³ /h/porc
Guingand , 2000 (40)	16,5 15 19	non indiqué non indiqué non indiqué
Guingand et al, 2003, (18)	5,4 4,4 8,3 11,5 7,5 12,7	élevé 263 m ³ /h/porc élevé 22,2 m ³ /h/porc élevé 35 m ³ /h/porc faible 110 m ³ /h/porc faible 13,5 m³/h/porc faible 24 m ³ /h/porc
Lagadec et al en 2012 (20)	19,5 12,7 14,5 26 26,2 7,7 17 6,8 10,5	non indiqué non indiqué non indiqué élevé faible élevé faible élevé faible
Total	22	

Tableau 17 : Concentrations d'ammoniac ventilation par extraction basse et fonction des débits.

Pour tous les systèmes d'évacuation haute les valeurs sont toutes au delà de la VME.

Les systèmes de gestion des effluents ont été comparés par Lagadec et al (20). Si une meilleur efficacité sur la concentration de l'ammoniac est observée avec le raclage à plat dans les élevages commerciaux RA2 et RA3 (7,7 et 6,8 ppm), cela est vrai uniquement pour les saisons chaudes, donc à haute ventilation.

La concentration est au dessus de la VME dans la station expérimentale (12,7 ppm) sans distinguer s'il s'agit d'une saison chaude ou froide.

A noter que dans tous les cas de raclage à plat ces systèmes sont associés à une ventilation par extraction basse.

L'élevage RA1 également pourvu d'un raclage à plat et d'une ventilation basse à des concentrations en ammoniac au dessus de la VLECT quelque soit la saison (26 et 26,2 ppm) sans qu'une explication soit donnée. Les débits de ventilation chiffrés seraient une donnée intéressante pour interpréter un tel niveau d'ammoniac et permettraient également de comparer plus justement les élevages entre eux.

Le stockage du lisier sous caillebotis est également accompagné d'une grande variation de concentration de l'ammoniac, seule l'article de Guingand et al, 2003 (18) sur les concentrations de l'ammoniac en fonction des stades physiologiques (18) montre des valeurs assez basses, inférieures à la VME. Toutefois les valeurs données dans l'article (tableau 9) se situent dans des intervalles qui sont parfois au delà de la VME (ex : $8,3 \pm 5,4$).

En 2000, Guingand (40) avait étudié l'influence de la vidange des préfosse sur l'émission d'ammoniac dans l'ambiance de l'élevage. Quelque soit la fréquence de vidange (/15j , 1 seule fois, jamais), la concentration dans l'ambiance restait au delà de la VME (16,5 -15-19 ppm).

L'ensemble des données des articles montre bien que la concentration de l'ammoniac dans l'ambiance des élevages est souvent au delà de la VME et ce malgré les tentatives de modifications environnementales de l'élevage (ventilation, évacuation des effluents). À systèmes égaux la concentration varie énormément. Il n'est pas possible de prévoir avec ces seules données, système d'évacuation, ventilation, si l'ammoniac sera ou non dans les limites légales.

Le danger que représente l'ammoniac pour la santé en exposition aiguë est inexistant tant pour les sapeurs-pompier, sinon un désagrément au cours de l'intervention, que pour le personnel travaillant en porcherie qui est y confronté quotidiennement, il n'y a pas de risque d'intoxication aiguë.

L'exposition chronique implique seulement le personnel de l'élevage. La littérature (33,36) montre que l'exposition à des valeurs supérieures à 9 ppm entraîne la majoration éventuelle d'une symptomatologie préexistante, hors plus des 2/3 des données des mesures d'ambiance sont supérieures à la VME de 10 ppm.

Concernant les valeurs supérieures à 25 ppm , l'exposition est corrélée à l'apparition de symptômes pulmonaires à type, entre autres, de toux et d'asthme (38). Hors sur les 10 mesures dépassant la VLECT à 20 ppm, 8 sont supérieures ou égales à 25 ppm (tableau 12)

Concernant l'ammoniac les moyens de protection collective ont été testés dans les articles étudiés puisqu'il est tenté de réduire sa concentration dans l'ambiance par des changements de technique d'élevage. Ces techniques sont incertaines quant à la diminution de la concentration d'ammoniac sous la VME et leur reproductibilité non fiable. La protection primaire est donc actuellement peu efficace. D'autres études modifiant et auscultant d'autres paramètres sont nécessaires pour essayer de diminuer l'exposition à l'ammoniac et autres contaminants. En effet si cette étude est seulement chargée de répondre à la question de la toxicité de l'ammoniac en élevage porcin, il n'est pas possible de dissocier l'ammoniac des autres toxiques présents que sont les poussières, les endotoxines et les bactéries.

Les conséquences du travail en élevage porcin sont indéniables, se manifestant par des symptômes pulmonaires et une modification des VEMS (2,3,23,4), l'ammoniac n'a certainement pas le rôle le plus important. La corrélation entre les altérations de la fonction respiratoire, l'empoussièrisme global et sa fraction inhalable, le taux d'endotoxine et la concentration en ammoniac est admise (23), sans oublier les ammoniums quaternaires utilisés comme désinfectant.

Les consignes de protection des salariés à l'embauche ne s'appliquent donc pas uniquement en raison de la présence de l'ammoniac, il est recommandé d'éviter

d'exposer, dans la mesure du possible, les personnes atteintes d'insuffisance respiratoire chronique ou d'asthme symptomatique (23).

Le suivi des salariés devra comporter outre l'interrogatoire à la recherche de symptômes à type de toux, dyspnée d'effort, sifflements expiratoires, des EFR afin d'évaluer régulièrement la fonction respiratoire.

La protection individuelle si elle était décidée devrait concerner l'ammoniac et les particules physiques et biologiques. C'est à dire un masque susceptible de protéger contre des particules sans effet spécifique, les bactéries virus endotoxines et contre l'ammoniac : FFP 2 et cartouche gaz type K (pour ammoniac), soit en demi masque à ventilation libre, soit en masque facial à ventilation assistée.

L'ammoniac présente une réelle difficulté dans le processus de réflexion de la protection des salariés en milieu agricole. Les VME et VLCT étant majoritairement dépassées et aucun processus d'élevage ne garantissant formellement et de façon répétée le maintien de la concentration d'ammoniac en dessous des valeurs légales, l'évaluation des risques ne peut conclure à un risque faible.

Sa catégorisation comme agent chimique à VLEP contraignante (non CMR) oblige légalement au respect du décret N°2009-1570 du 15 décembre 2009 relatif au contrôle du risque chimique sur les lieux de travail avec l'obligation de contrôle des expositions par un organisme accrédité.

Le véritable objectif de prévention est de se concentrer sur les procédés d'élevage afin de réduire à la source l'émission des toxiques, ce qui est du domaine de l'ingénierie agricole.

Maladie professionnelle : Il n'y a pas de tableau soit au Régime Agricole (RA) soit au Régime Général (RG) mentionnant l'ammoniac. La coexistence de multiples toxiques dans l'ambiance des élevages rend l'attribution de la responsabilité d'une pathologie respiratoire seulement à l'ammoniac difficile.

2 Le sulfure d'hydrogène

Le sulfure d'hydrogène n'est habituellement pas présent dans l'ambiance des élevages porcins (26,28,41) et ne représente pas de danger chronique pour les personnes qui travaillent dans un élevage.

La particularité du sulfure d'hydrogène est l'anesthésie olfactive qu'il provoque dès 100 ppm empêchant toute prévision d'un éventuel accident grave ainsi que la perte de connaissance immédiate qu'il entraîne dès 1000 ppm.

Les accidents d'exposition au sulfure d'hydrogène sont rares mais graves avec une mortalité importante (tableau 16) et le sur-accident fréquent.

Le sulfure d'hydrogène emprisonné dans le lisier sous forme de bulle se libère dès lors qu'il y a agitation de lisier. La littérature étudiée montre qu'un écoulement de liquide de lavage dans une préfosse peut suffire (55) ou même l'évacuation par gravité du lisier d'une préfosse vers une fosse extérieure pourra provoquer un dégagement d'H₂S. Il n'a pas été trouvé de mesure de dégagement d'H₂S par une agitation provoquée par des porcs ou des humains dans une préfosse. Néanmoins si l'on considère le poids total de chute et de l'agitation provoquée par des truies de 250 kg tombées dans une préfosse

(13), cela se rapproche de l'exemple de la chute de 500 à 1000kg d'aliment dans une préfosse (54) qui a suffi à provoquer la mortalité de 30 porcs . Par ailleurs, le décès de 33 porcs après une chute dans une préfosse (15) ne fait pas la distinction entre noyade ou éventuelle asphyxie.

La présence de porcs vivants dans une préfosse ne doit pas être prise comme un indicateur d'absence d'hydrogène sulfuré, le seuil d'intoxication mortelle pour le porc est 980 ppm pendant 100 min ou 1500 ppm pendant 20 minutes (48), même en considérant le seuil plus bas de 800 ppm (45), est bien supérieur au seuil de 500 ppm à partir duquel le coma peut survenir rapidement chez l'humain, atteignant même le seuil de 1000 ppm de l'intoxication suraiguë avec perte de connaissance immédiate.

Si une interrogation se pose sur la profondeur de la préfosse qui peut être parfois seulement de 60 cm, un accident survenu en porcherie (annexe 1) ayant provoqué le décès de porcelet au cours du brassage du lisier dans une préfosse de cette profondeur rappelle que le danger est présent.

H2S et professions agricoles

En condition de travail les situations à risques sont bien identifiées, il s'agit du brassage du lisier et de l'évolution dans une fosse.

En cas de brassage de lisier les valeurs atteignent les seuils des effets irréversibles pour les humains (53) et sont parfois mortelles pour les animaux. Le risque est important et les recommandations habituellement faites sont d'évacuer tous les animaux, de ne pas pénétrer dans la salle où le brassage est en cours, de mettre la ventilation au maximum. On peut ajouter qu'en cas de possibilité matérielle, brasseur à vitesse réglable, le brassage prolongé avec une intensité moindre semble à privilégier comme vu dans l'étude de Swestka (53), toutefois cela semble empirique, aucune puissance de brassage n'étant indiquée et les méthodes de brassage n'étant pas normalisées dans les élevages.

Le maintien de la ventilation au maximum après l'arrêt du brassage et avant de pénétrer dans la salle ainsi que le port d'un détecteur individuel de sulfure d'hydrogène sont des consignes de prévention simples et peu coûteuses.

En cas d'évolution dans une fosse, quelque soit le motif, il est nécessaire de suivre les consignes de travail en milieu confiné (57) préconisées par plusieurs organismes (55,56,70) :

- personnel ayant les connaissances et formé pour appliquer les consignes.
- ventilation par insufflation avant et pendant la durée de l'intervention (et non pas par extraction comme préconisé par la DRAFF (70).
- contrôle de la présence de gaz avec détecteur, en trois points (haut, milieu, bas) pendant une minute à chaque point.
- La personne qui descend dans la fosse doit être munie d'un appareil respiratoire autonome, d'un harnais relié à un dispositif de remontée.
- les travaux se font sous la surveillance permanente d'une personne placée à l'extérieure de la fosse.

Ces recommandations sont en partie faites dans un document fourni par la MSA pour la réalisation du document unique d'évaluation des risques en élevage porcin (71).

Toute la dangerosité de l'hydrogène sulfuré est caractérisée par son absence la plupart du temps, abaissant le seuil de vigilance, et son extrême dangerosité en cas d'exposition.

Comme il est impossible d'exclure ce danger du mode de production porcine intensive, tout stockage d'effluents y exposant, une information régulière des intervenants en porcherie sur les dangers de l'hydrogène sulfuré et des situations où l'on y fait face ainsi que les consignes de sécurité est la première des mesures de protection collective.

Le suivi médical des salariés comporte l'interrogatoire à la recherche d'éventuelles expositions et des examens fonctionnel respiratoire qui s'intègrent dans le suivi global du salarié en élevage intensif.

La protection individuelle passe par les détecteurs individuels, la mise à disposition du matériel pour l'application des procédures d'intervention en milieu confiné.

Le caractère contraignant de la VLEP du sulfure d'hydrogène ne pose pas ici la même problématique que pour l'ammoniaque. La VME est respectée puisqu'il n'est pas détecté de façon habituel dans l'élevage. Les phases d'exposition sont connues et théoriquement les mesures de protections apportées.

Si toutes ces consignes semblent admissibles pour l'évolution dans une fosse profonde, il sera peut-être plus compliqué de les faire admettre pour l'évolution dans une préfosse sous caillebotis ceux-ci minimisant l'impression d'un confinement important. D'ailleurs les pompiers ne les ont eux même pas appliquées au cours du sauvetage des porcs. Pourtant il devrait en être de même.

H2S et sapeurs-pompiers

Le cas du sauvetage des porcs dans les préfosses à lisier avec souvent présence du lisier, est certainement une situation rencontrée par les pompiers exclusivement. Il leur est demandé de pénétrer dans les fosses pour aller chercher les porcs.

Il est évident maintenant à la lecture des différents articles, que quelque-soit la profondeur de lisier persistante dans la fosse on doit considérer ce milieu comme à risque majeur vis à vis de l'hydrogène sulfuré.

Le préalable évident avant toute intervention est de savoir si il est possible de vidanger la fosse avant d'intervenir. En cas d'impossibilité il faut que la hauteur de lisier soit compatible avec l'évolution des sapeurs-pompiers. L'expérience pour une telle intervention a montré, dès que le liquide atteint le nombril des intervenants, la situation devient anxiogène. Il n'y a aucune norme en la matière, c'est au commandant des opérations de secours de décider.

Il est important de demander au responsable de l'élevage d'indiquer les emplacements des siphons présents dans les fosses afin d'éviter les risques de chutes au cours de l'évolution dans la fosse.

Il semble alors ne pas y avoir d'autre alternative que de réaliser cette intervention muni d'un appareil respiratoire isolant (ARI) (ou un appareil isolant autonome à circuit ouvert à

air comprimé) que possèdent les pompiers, utilisé habituellement en incendie pour pénétrer dans les milieux enfumés. Les véhicules incendie (Fourgon Pompe Tonne ou FPT) peuvent disposer jusqu'à 6 ARI. Ces appareils permettent l'évolution des hommes en les isolant complètement du milieu extérieur. L'ARI devra être porté avec un casque.

Seuls deux pompiers équipés d'ARI sont nécessaires pour aborder les porcs, les diriger un à un vers la zone d'évacuation et les attacher. Le reste de l'intervention étant menée par les autres équipages au dessus des caillebotis.

Un autre ARI devrait être posté à proximité immédiate, ensaché afin de le protéger, pour qu'un autre sauveteur puisse éventuellement intervenir.

Un détecteur d'H₂S devra être en permanence posé au sol dans la zone d'extraction des porcs afin de prévenir toute montée de niveau de gaz.

En cas d'alarme les lieux devront être évacués et un dispositif de ventilation par insufflation mis en place.

Si l'évolution sous les caillebotis est gênée par les piliers de soutien autour desquels la corde sécurisant le pompier pourrait s'enrouler, cette longe pourra ne pas être employée.

5 Conclusion.

Le risque chimique n'est plus une notion qui s'applique uniquement à l'industrie manufacturière. « L'industrie de production animale » produit désormais ses propres agents chimiques.

En industrie d'élevage porcin parmi une grande quantité d'agents chimiques, seuls l'ammoniac (NH₃) et le sulfure d'hydrogène (H₂S) présentent actuellement des niveaux présentant un danger pour la santé. De plus ces deux agents chimiques ont des valeurs limites réglementaires contraignantes. Ce statut oblige l'entreprise à répondre à la réglementation en vigueur, et, si l'évaluation des risques ne conclut pas à un risque faible, de faire pratiquer un contrôle des expositions par un organisme accrédité.

Le danger que représente le sulfure d'hydrogène en élevage est connu depuis longtemps, mais malgré cela les décès par intoxication aiguë persistent. La toxicité chronique du sulfure d'hydrogène n'est pas à craindre, les niveaux d'exposition sont en dessous de la VME hors procédure de mobilisation du lisier. Par contre dès que les procédures de travail entraînent une agitation du lisier où que l'entretien des fosses nécessitent d'y pénétrer, le risque d'intoxication aiguë est majeur. Il n'a pas été trouvé de procédure de brassage de lisier standardisée permettant d'anticiper les dégagements d'H₂S dans l'ambiance de l'élevage. Actuellement seules les mesures d'information, de formation et de protection individuelle sont efficaces.

L'ammoniac est désormais plus problématique pour l'employeur. Si avant 2012 ces niveaux d'exposition étaient inférieurs aux valeurs limites réglementaires c'est parce que ces dernières étaient plus élevées. Les niveaux d'expositions dans la littérature étudiée sont majoritairement supérieurs aux valeurs limites réglementaires actuelles (VME 10 ppm, VLECT : 20 ppm). Les processus d'exploitation étudiés dans les différents articles,

raclage à plat, ventilation avec extraction basse, n'ont actuellement pas fait la preuve de la reproductibilité de leur efficacité et de la transposition d'un élevage à un autre. Quelle va être l'application de la réglementation des agents chimiques à valeur limite réglementaire contraignante pour l'entreprise agricole ?

Le risque lié à l'exposition chronique à l'ammoniac pris isolément en tant que toxique d'ambiance n'est qu'une explication partielle aux pathologies pulmonaires rencontrées en élevage intensif, il faut retenir la co-exposition à des toxiques multiples dont les effets s'ajoutent (endotoxines, poussières, bactéries). Comme pour l'ammoniac, si la réglementation en matière de valeur limite venait à évoluer pour ces autres toxiques, l'industrie de production animale devra faire face à de nouveaux défis dans des moments où elle fait part de ses difficultés.

Quant aux pompiers, non le danger ne vient pas de ce qui est évident, de ce qui pique, mais plutôt de ce qui ne peut pas sentir quand le danger est bien réel. Reste maintenant à apporter les informations sur tous les autres risques identifiés qui n'ont pas été l'objet de ce mémoire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Chambre d'agriculture Morbihan. Dernière mise à jour 19/09/2005
Fosses à lisier
<http://www.agriemploi56.com/print.php?identexte=206010304>
2. DONHAM (K.).-2015
L'élevage en stabulation permanente
In: Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Bureau international du Travail, partie X, chapitre 70
3. GUINGAND (N.).-1998
Qualité de l'air dans les porcheries
Techniporc, 3, 27-31
4. MASSABIE (P.), RAMONET (Y.).-2007Les bâtiments de porcs en France : état des lieux
TechniPorc, 5, 5-11.
5. KIRKHORN (S.), GARRY (V.).-2000
Agricultural lung diseases
Environmental Health Perspectives, 108, 705-712
6. ROGUET Christine, LAPUYADE Marie anne, SOLER Philippe.-Avril 2013
Les élevages porcins en france métropolitaine en 2010
AGRESTE PRIMEUR, 300, 8p.
7. AGRESTE pays de loire.- Avril 2012
Moins d'élevages porcins, plus grands et plus spécialisés
DRAAF Pays de loire, 6p.
http://www.draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Agreste_2012_04_Porcs_cle47a713-3.pdf
8. AGRESTE.-2014
Le bilan annuel de l'emploi agricole selon l'orientation technicoK-économique de l'exploitation. Résultats 2012
Agreste Chiffres et Données Agriculture, 225, 70p
9. PEU (P.).- 2011
La gestion des effluents d'élevage et la production d'hydrogène sulfuré, cas particulier de la méthanisation
Thèse de chimie, Université de Rennes 1, 165p.
10. AGRESTE.2010
La gestion des effluents dans les élevages porcins.
Agreste primeur, 248, 4p
11. Arrêté du 19 décembre 2011
Arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole.
NOR: DEVL1134069A

12. la voix du nord 22/04/2014
A Robecq, le plancher d'une porcherie s'effondre, 5 bêtes meurent noyées, 25 sont sauvées.
<http://www.lavoixdunord.fr/region/a-robecq-le-plancher-d-une-porcherie-s-effondre-5-ia30b53964n2086486>
13. Le Télégramme, 06/07/2014
Briec. Quatre truies sauvées de la fosse à lisier.
http://www.letelegramme.fr/finistere/briec-de-lodet/briec-quatre-truies-sauvees-de-la-fosse-a-lisier-06-07-2014-10246705.php?utm_source=rss_telegramme&utm_medium=rss&utm_campaign=rss&xtor=RSS-20
14. Le Télégramme 13/05/2010
Bonalo. 37 porcs tombent dans la fosse à lisier.
<http://www.letelegramme.fr/local/morbihan/pontivy/locmine/lachapelleneu/bonalo-37-porcs-tombent-dans-la-fosse-a-lisier-13-05-2010-912863.php>
15. Le Télégramme 29/02/21012
Trente trois porc meurent après une chute dans une fosse à lisier.
<http://www.letelegramme.fr/ig/generales/regions/cotesarmor/loudeac-trente-trois-porcs-meurent-noyes-apres-une-chute-dans-une-fosse-a-lisier-29-02-2012-1616277.php>
16. Ouest France 18/03/15
Des truies tombent dans une fosse à lisier à la Chouannière
<http://www.ouest-france.fr/des-truies-tombent-dans-une-fosse-lisier-la-chouanniere-3267994>
17. Ouest France 03/02/15
Saint Servant. 17 pompiers mobilisés pour sauver 25 cochons.
<http://www.ouest-france.fr/saint-servant-17-pompiers-mobilises-pour-sauver-25-cochons-3162660>
18. GUINGAND (N.).-2003
Qualité de l'air en bâtiment et stades physiologiques
Techniporc, 26, 18-24.
19. LEMAY S., CHENARD L., MACDONALD R.-2002
Indoor air quality in pig buildings : why is it important and how is is managed ?
In : London Swine Conference – Conquering the Challenges, 11-12 April 2002
20. LAGADEC (S.), LANDRAIN (B.), LANDRAIN (P.), HASSOUNA (M.), ROBIN (P.).-2012
Evaluation zootechnique, environnementale et économique des techniques d'évacuation fréquente des déjections en porcherie
Rapport d'étude, chambres d'agriculture de Bretagne, 10p
21. INRS.-2012
Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques
ED 984
22. GEHIN (D.), LE BACLE (C).-2011
Endotoxines en milieu du travail. Expositions, risques, prévention.
Documents pour le médecin du travail, 128, 583-601, TC 138

23. ROSENBERG (N.).-2006
Affections respiratoires non infectieuses dues aux agents biologiques (TR37)
Documents pour le médecin du travail, 106, 225-238
24. SOWIAK (M.), BRODKA (K.), BUCZYNSKA (A.) et al.-2012
An assessment of potential exposure to bioaerosols among swine farm workers with particular reference to airborne microorganisms in the respirable fraction under various breeding conditions.
Aerobiologia, 2, 121-133
25. GEHIN (D.), LE BACLE (C).-2011
Endotoxines en milieu de travail. Origine et propriétés toxiques des endotoxines.
Métrologie
Documents pour le médecin du travail, 126, 225-240. TC 136
26. Laboratoire National de Métrologie et d'Essais.-2011
Rapport final. 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. N° Affaire L060702, 50 p.
27. INRS.-2005
Fiche toxicologique FT 238. Dioxyde de carbone
28. GUINGAND (N.).-1998
Stockage et épandage du lisier : Impact sur la qualité de l'air en porcheries et sur l'environnement
Techniporc, 2, 19-25
29. CHOINIÈRE (Y.), MUNROE (J.A.).-1993
La qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage
Fiche technique ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales Ontario
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/swine/facts/93-002.htm>
30. Centers for Disease Control and Prevention
Fiches internationales de Sécurité Chimique, Méthane
<http://www.cdc.gov/niosh/ipcsnfrn/nfrn0291.html>
31. CSST
Répertoire toxicologique, méthane
http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/pages/fiche-complete.aspx?no_produit=8896
32. INRS.-2007
Ammoniac et solutions aqueuses
Fiche toxicologique FT 16
33. INERIS.-2012
Ammoniac
Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques
34. Ammonia, toxicological overview
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/337506/hpa_ammonia__Toxicological_Overview_v2.pdf

35. INERIS,-2012
Seuils de toxicité aiguë, ammoniac
36. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.-2004
Toxicological profile for ammonia
U.S Department of health and human services.
37. Holness, D. L., Purdham, J. T. and Nethercott, J. R. (1989).
Acute and chronic respiratory effects of occupational exposure to ammonia.
Am Ind Hyg Assoc, 50, 646-50
38. BALLAL (S.G.), ALI (A.), ALBAR (A.A.), AHMED 5H.O.), AL-HASAN (A.Y.).-1998
Bronchial asthma in two chemical fertilizer producing factories in eastern Saudi Arabia
International journal tuberculosis lung disease, 4, 330-335
39. 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
Journées Recherche porcine en france, 31, 139-144
40. GUINGAND (N.).-2000
Influence de la vidange des préfosse sur l'émission d'ammoniac et d'odeurs par les porcheries d'engraissement. Résultats préliminaires
IN : 32ième journées de la recherche porcine, ITP, INRA, 83-88
41. DEGRE (A.), VERHEVE (D.), DEBOUCHE (C.).-2001
Emissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction : revue bibliographique
Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement, 5, 135-143
42. GERAULT (P.), DEWITTE (J.D.), JOURDREN (L.).-2003
Les affections respiratoires des aviculteurs et des porchers en élevage intensif
Sciences et techniques avicoles, 42, 15-21
43. INRS.-2014
Sulfure d'hydrogène
Fiche toxicologique FT 32
44. INRS.-2005
Risques d'intoxication présentés par l'hydrogène sulfuré
Recommandation R 420
45. Manure storage safety.-2005
American society of agricultural and biological engineers, EP 470
46. THILL (C.), MONTELESCAUT (E.), ARIES (P.), SAPIN-LORY (J.) OULD-AHMED (M.), DROUILLARD (I.).-2013
Intoxication à l'hydrogène sulfuré : revue de la littérature et implications en milieu militaire
Médecine et armées, 2 ,185-192
47. TISSOT (A.), PICHARD (A.).-2000
Seuils de toxicité aiguë, hydrogène sulfuré
INERIS rapport final, 39p

48. ANSES.-2001
Avis de l'ANSES relatif à la toxicité du sulfure d'hydrogène (H₂S) chez l'animal et aux valeurs de toxicité disponibles dans la bibliographie sur ce sujet pour interpréter des résultats d'autopsie de sangliers et ragondins
ANSES, Saisine n° 2011-SA-0225, 17p.
49. BISSON (M.).-2011
Sulfure d'hydrogène
INERIS, Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, 106 p
50. ATSDR,-2014
Draft toxicological profile for hydrogen sulfide and carbonyl sulfide
ATSDR, 317p
51. VIDAL (A.), BLANCHEMAIN (J-F.), VERDUN-ESQUER (C.), RINALDO (M.), BROCHARD (P.).-2012
Les effets respiratoires d'une exposition chronique et subaiguë à l'hydrogène sulfuré : rapport de cas de salariés d'épuration des eaux usées
Archives de maladies professionnelles et de l'environnement, 73, 799-805
52. NOSAL (D.), STEINER (T.).-juin 1986
Systèmes d'évacuation du lisier : fonctionnement et formation de gaz toxiques
Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural (FAT), Rapport FAT, 292, 8p.
53. SWESTKA (R.J).-2010
Hydrogen sulfide spatial distribution and exposure in deep-pit housing
Thèse Iowa State University. 121P
54. 3trois3.com,-mise a jour Mars 2015
Intoxication par H₂S 20 AOÛT 2007
<https://www.3trois3.com/print/679>
55. Les fosses à lisier : des bombes sournoises
Consultation sur le développement durable de la production porcine au Québec.
Santé7
<http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/SANTE7.pdf>
56. Commission de la Santé et de la Sécurité au Travail.-2000
Gaz de lisier et de fumier, guide de prévention des intoxications
CSST, 32 P
57. Intervention en espaces confinés dans les ouvrages d'assainissement.
Obligations de sécurité.
INRS ED6026
58. Direction des Etudes des Répertoires et des Statistiques.-Avril 2014
Les décès des non-salariés agricoles suite à un accident du travail ou une maladie professionnelle en 2010, 2011 et 2012.
Mutualité sociale agricole,
<http://www.msa.fr/lfr/documents/98830/11180475/Etude+-+Nombre+de+d%C3%A9c%C3%A9s+des+NSA+suite+%C3%A0%20un+accident+de+travail+ou+d%27une+maladie+professionnelle+entre+2010+et+2012.pdf>

59. Direction des Etudes des Répertoires et des Statistiques.-Décembre 2014
Les décès des salariés agricoles suite un accident du travail ou une maladie professionnelle en 2011, 2012 et 2013.
Mutualité sociale agricole,
<http://www.msa.fr/lfr/documents/98830/11180475/Etude+-+D%C3%A9c%C3%A8s+des+salari%C3%A9s+agricoles+suite+%C3%A0%20un+accident+du+travail+ou+une+maladie+professionnelle+-+2011+%C3%A0%202013.pdf>
60. Tendances ouest
Benoitville : l'ouvrier agricole intoxiqué est décédé
<http://www.tendanceouest.com/actualite-101170-benoitville-ouvrier-agricole-intoxique-est-decede.html>
61. La Manche libre
Benoitville : intoxiqués par une fosse à lisier
<http://www.lamanchelibre.fr/cherbourg/depeche-58877-benoitville-intoxiques-par-une-fosse-a-lisier.html>
62. Sud-Ouest
Landes : chute mortelle dans une fosse à purin
<http://www.sudouest.fr/2014/03/21/montaut-40-chute-mortelle-d-un-quadrigenaire-dans-une-fosse-a-purin-1499364-3595.php>
63. L'Est Républicain 27/04/2013
Haute-Saône : drame dans une fosse à lisier
<http://www.estrepublicain.fr/actualite/2013/04/27/drame-dans-une-fosse-a-lisier>
64. La voix du Nord 28/12/2011
Un agriculteur gauchinois est mort asphyxié dans une fosse à lisier en secourant son fils
<http://www.estrepublicain.fr/actualite/2013/04/27/drame-dans-une-fosse-a-lisier>
65. Le dauphiné 30/03/11
Deux agriculteurs décèdent dans une fosse à purin
<http://www.ledauphine.com/faits-divers/2011/03/30/deux-agriculteurs-decedent-dans-une-fosse-a-purin>
66. Le Télégramme
Saint-Divy : un agriculteur tombe dans une fosse lisier
<http://www.letelegramme.fr/finistere/brest/saint-divy-un-agriculteur-tombe-dans-une-fosse-a-lisier-14-04-2015-10594535.php>
67. Charente Libre
Edon, un agriculteur mort dans la fosse à lisier
<http://www.charentelibre.fr/2014/02/19/edon-un-agriculteur-mort-dans-la-fosse-a-lisier,1881229.php>
68. Ouest France 15/04/14
Faits divers. Tombé dans la fosse à lisier, un agriculteur décède
<http://www.ouest-france.fr/faits-divers-tombe-dans-la-fosse-lisier-un-agriculteur-decede-2177108>
69. La Montagne 26/07/14
L'agriculteur meurt noyé dans une fosse à purin
<http://www.lamontagne.fr/auvergne/actualite/departement/haute->

70. DRAAF pays de loire.-2001

Un salarié asphyxié dans une fosse à lisier

F i c h e

s é c u r i t é

N ° 1

http://www.draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Asphyxie_dans_une_fosse_a_lisier_cle059ad6.pdf

71. Evaluation des risques en élevage porcin

<http://www.msaportesdebretagne.fr/lfr/documents/98950/3313296/Evaluation+des+risques+en+%C3%A9levage+porcin.pdf>

ANNEXE 1

22/12/10

V. Müller.

UM 10122202

⇒ Motif de l'intervention.

12 porcelets terminés morts en début d'après midi
sur 2 cases : 10+2 - dans la 1^{ère} case restent
quelques porcelets dont 3 respirent mal à très mal.

Aucun symptôme respiratoire ou nerveux sur l'ensemble
des autres cases de mater.

Autopsie de 6 des 12 porcelets :

poumon du côté mort, longéus + congestionnés
mais poumon supérieur RAS et trachées RAS.

sur 4 des 6 porcelets on observe une congestion
des intestins avec fibre très fine en toile d'araignée
Pas de diarrhée sur ces porcelets.

Fait notable : c'est la case la plus près du brasseur
(mis en route) qui a mortifié ⇒ forte suspicion
d'asphyxie des porcelets, de façon accidentelle.

N.B : piquer les porcelets restant de la case
avec Duphamox LA.

V. Müller
M.

Résumé

L'interrogation portée au décours d'une intervention sapeurs-pompiers pour le sauvetage de porcs tombés dans une fosse à lisier a permis de poser la question sur le risque chimique des gaz générés dans l'ambiance de travail par l'élevage porcin intensif.

Parmi plus d'une centaine de gaz, seul l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène présentent actuellement un danger potentiel.

La recherche bibliographique révèle des niveaux d'expositions à l'ammoniac supérieurs aux valeurs limites réglementaires. Le sulfure d'hydrogène présent de façon inconstante présente un réel risque d'intoxication aiguë.

Les solutions techniques apportées ne permettent pas actuellement aux entreprises d'élevage de se conformer à la réglementation et les mesures de prévention collectives sont parfois inefficaces. Un nouveau défi s'impose au monde agricole pour répondre aux exigences de protection de la santé

Mots clés : gaz, élevage spécialisé, conditions de travail, sapeurs-pompiers