MESURES EXPERIMENTALES EN BATIMENTS BOVINS ET A PROXIMITE DE FOSSES

Version du 05/03/25

Lifeabaa2021@airbreizh.asso.fr

https://lifeabaa2021.eu

Life 2021

Contexte du rapport

Ce rapport a été produit dans le cadre du projet ABAA Life 2021 qui vise à réduire les émissions d'ammoniac d'origine agricole dans l'air ambiant et améliorer la qualité de l'air. Ce projet innovant, sur 4 ans, est porté par l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air, Air Breizh, en partenariat avec la Chambre d'Agriculture de région Bretagne (CAB).

Conditions de diffusion

Air Breizh est l'organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air pour la région Bretagne, au titre de l'article L221-3 du Code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 1er août 2016 pris par le ministère de l'Environnement portant renouvellement de l'agrément de l'association. À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Breizh est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

L'équipe du projet ABAA, constituée de salariés d'Air Breizh et de la CAB, réserve un droit d'accès au public à l'ensemble des résultats de mesures et rapports d'étude selon plusieurs modalités : document papier, mise en ligne sur le site internet du projet ABAA (https://lifeabaa2021.eu), et sur le site internet d'Air Breizh (www.airbreizh.asso.fr).

Toute utilisation de ce rapport et/ou des données associées doit faire référence au projet ABAA.

Air Breizh et la CAB ne peuvent, en aucune façon, être tenus responsables des interprétations et travaux utilisant les rapports d'études pour lesquels l'équipe du projet n'aura pas donné d'accord préalable.

Cofinancé par l'Union Européenne. Les opinions exprimées n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'Union Européenne ou du CINEA. Ni l'Union Européenne ni l'autorité subventionnaire ne peuvent en être tenues responsables.

Organisation interne – contrôle qualité

Projet :	**Nom du rapport d'étude**		
Version (date)	**Modifications**	**Auteur**	**Validation**
Version du 05/03/25	Rédaction	Meryll Le Quilleuc (cheffe de projet, Air Breizh) Klervi Geffroy (Conseillère lait et environnement, CAB)	Meryll Le Quilleuc (cheffe de projet)

Summary

During discussions with the pioneering group of farmers, questions were raised about the effectiveness of certain measures to reduce ammonia emissions from livestock buildings and manure storage facilities.

Test protocols were therefore developed in collaboration between the Brittany Chamber of Agriculture and Air Breizh in order to provide answers to these questions.

Results

In order to study the influence of slurry scraping frequency, ammonia concentration measurements were taken in two cattle barns for approximately one month in summer and winter. Scraping frequencies were changed every other week and ammonia concentrations were measured using:

- passive tubes distributed at several points in the building to study the spatial variability of ammonia concentrations,
- micro sensors to study the temporal variability of ammonia concentrations.

No correlation could be established during this test between ammonia concentrations and the frequency of scraping in cattle buildings. However, the impact of the weather was visible on the ammonia concentrations measured inside the building.

The test on pit mixing was carried out at a pioneer group farmer's premises during the winter. During this period, the farmer mixed his slurry once or twice a day for 20 minutes on four days during the campaign.

Ammonia measurements were taken using a micro sensor. However, no conclusions could be drawn from this test.

This can be explained by various hypotheses (little impact of pit mixing, too sporadic an increase in ammonia concentrations, too rapid dilution of measured levels, etc.).

These tests have shown how difficult it is to measure the impact of practices on ammonia concentrations in naturally ventilated buildings under uncontrolled conditions or in outdoor air.

However, in future studies, areas for improvement in measurement protocols could be identified.

Sommaire

1. Introduction *7*

2. Matériel et méthode *8*

2.1. Protocole n°1 – Fréquence de raclage **8**

2.2. Protocole n°2 – Brassage de fosse **11**

2.3. Descriptif de la méthode de mesure par tubes passifs **12**

2.4. Descriptif des micro-capteurs TERA **13**

3. Résultats *13*

3.1. Fréquence de raclage **13**

a. Résultats des tubes passifs 13

b. Résultats des micro-capteurs 18

c. Comparaison des résultats obtenus par tubes passifs et avec les micro-capteurs 23

3.2. Brassage de fosse **25**

4. Références bibliographiques *27*

Index des tableaux

Tableau 1 : Exemple d'une fiche de routine renseignée sur l'une des exploitations. 8

Tableau 2 : Exemple des fréquences de raclage mises en place sur l'une des exploitations pendant les essais. 9

Tableau 3 : Valeurs statistiques en ammoniac mesurées par tubes passifs dans les 2 bâtiments d'élevage comparés aux valeurs statistiques obtenues dans un bâtiment d'élevage laitier en Bourgogne Franche Comté. ..18

Index des figures

Figure 1 : Schéma explicitant la différence entre les émissions et les concentrations de polluants. 7

Figure 2 : Photo d'un abri de tubes passifs installé dans l'un des bâtiments. 10

Figure 3 : Photo du capteur et d'un abri de tubes passifs installés dans l'un des bâtiments. 10

Figure 4 : Localisation des points de mesure par tubes passifs dans la ferme n°1 (en haut) et dans la ferme n°2 (en bas). 11

Figure 5 : Concentrations en ammoniac au niveau de chaque point de mesure pendant la campagne hiver (en haut) et la campagne été (en bas) dans le bâtiment n°1. 14

Figure 6 : Concentrations en ammoniac au niveau de chaque point de mesure pendant la campagne hiver (en haut) et la campagne été (en bas) dans le bâtiment n°2. 15

Figure 7 : Concentrations moyennes de l'ensemble des tubes pour chaque semaine en hiver (à gauche) et en été (à droite) dans la ferme n°1. 16

Figure 8 : Concentrations moyennes de l'ensemble des tubes pour chaque semaine en hiver (à gauche) et en été (à droite) dans la ferme n°2. 17

Figure 9 : Concentrations en ammoniac mesurées sur les 2 fermes pendant la campagne hiver (à gauche) et pendant la campagne été (à droite). 17

Figure 10 : Concentrations journalières en ammoniac mesurée par micro-capteur sur la ferme n°1 et vitesse du vent mesurée sur le site nord du réseau de mesure LIFE ABAA durant la campagne hivernale. 19

Figure 11 : Concentrations journalières en ammoniac mesurée par micro-capteur sur la ferme n°2 et vitesse du vent mesurée sur le site nord du réseau de mesure LIFE ABAA durant la campagne hivernale (en haut) et durant la campagne estivale (en bas). 20

Figure 12 : Concentrations en ammoniac par tubes passifs (teinte foncée) et par micro-capteur (teinte claire) pendant l'hiver sur la ferme n°1. 24

Figure 13 : Concentrations en ammoniac par tubes passifs (teinte foncée) et par micro-capteur (teinte claire) pendant l'hiver (à gauche) et pendant l'été (à droite) sur la ferme n°2. 24

1. Introduction

Des questionnements du groupe pionnier ont été soulevés à propos de l'efficacité de certains leviers pour réduire les émissions d'ammoniac liées aux bâtiments d'élevage et aux stockages des effluents. A ce jour, il existe peu de références sur les émissions et les leviers à mettre en œuvre sur les infrastructures des exploitations bovines en particulier.

Des protocoles d'essais ont donc été construits en collaboration entre la Chambre d'agriculture de Bretagne et Air Breizh afin d'apporter des éléments de réponses à ces questionnements.

Ces essais ont été menés dans des bâtiments d'élevage bovin du groupe pionnier. Les expériences menées ont été mise en place afin de répondre à deux questions :

- L'influence de la fréquence de raclage des lisiers sur les émissions d'ammoniac en bâtiments bovins,
- L'influence de la phase de préparation des lisiers (broyage/brassage) dans la fosse sur les émissions d'ammoniac.

Avant de définir les protocoles, des échanges ont été menés avec des experts de l'IDELE, de la Chambre d'agriculture du Grand Est, d'Atmo Bourgogne France Comté et de la Chambre d'agriculture de Bretagne afin de recueillir l'expérience de chacun sur les outils de mesure et sur les projets ayant déjà été menés sur ces sujets.

Air Breizh n'étant pas équipé pour faire des mesures d'émissions au bâtiment ou au champ, il a été décidé de s'orienter plutôt vers une mesure des concentrations dans l'air des bâtiments ou dans l'air ambiant (selon la problématique étudiée).

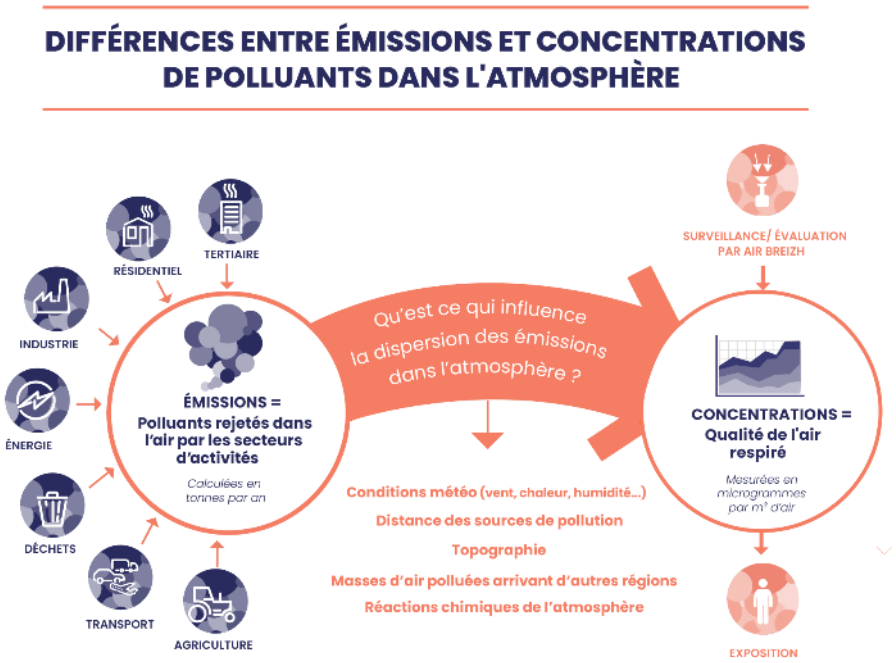

Figure 1 : Schéma explicitant la différence entre les émissions et les concentrations de polluants.

2. Matériel et méthode

2.1. Protocole n°1 – Fréquence de raclage

Le protocole a été mis en place 6 semaines en hiver et 4 semaines en été. Les 2 saisons ont été étudiées afin de prendre en compte les variations liées à la température ambiante. Deux types de fréquence de raclage ont été définis (propre/sale) et une alternance une semaine sur deux a été mise en place. Il a été décidé de garder une même fréquence pendant une semaine afin de limiter les effets de la météo sur les résultats. Travailler avec une même fréquence pendant une semaine permet d'assurer une stabilité de la modalité de fréquence de raclage en ne la faisant pas varier trop souvent.

L'essai a été réalisé dans deux fermes du groupe pionnier dans le but de tester le protocole en condition réelle et afin d'impliquer les éleveurs du groupe. Deux fermes ont été choisies afin de pouvoir confirmer les résultats dans deux conditions pouvant être différentes sur le plan de l'aération des bâtiments, du nombre d'animaux, de l'architecture, etc.

Les deux fermes ont été choisies en priorité pour la présence d'un robot racleur qui permet de modifier la fréquence du raclage sans impacter le temps de travail de l'éleveur. L'avantage du robot racleur est son automatisation et sa régularité. De plus, il faut que ce robot racleur ne soit pas à saturation afin d'avoir une amplitude de temps pour le choix des deux fréquences de raclage à tester. Des fermes de tailles moyennes avec un nombre d'animaux moyens ont donc été sélectionnées pour respecter ce besoin.

Il a été demandé aux éleveurs de renseigner quotidiennement les pratiques d'élevage qui pourraient impacter les concentrations en ammoniac. Le but étant de s'assurer que les variations constatées au cours de l'essai soient bien liées au protocole et non pas aux pratiques d'élevage.

Fiche de routine		
Activité	Heure	Fréquence
Traite des vaches le matin	7h30-9h15	Tous les jours
Distribution nourriture	En permanence	Tous les jours
Raclage tracteur	9h et 18h30	Tous les jours
Traite des vaches le soir	17h-18h30	Tous les jours

Tableau 1 : Exemple d'une fiche de routine renseignée sur l'une des exploitations.

Les principaux points de vigilance sont :

- La stabilité du nombre d'animaux,
- L'alimentation,

- La météo,
- La gestion des effluents dans le bâtiment ou en proximité (broyage de lisier, manipulation des fumiers, curage des airs paillés alentour, ...)

Les deux fermes ont mené les essais de façon simultanée et avec les fréquences inverses afin de s'extraire de la variation liée aux conditions météo pour l'interprétation des variations des concentrations d'ammoniac.

En hiver, les 2 premiers paramètres sont facilement contrôlables. En revanche, pendant la campagne estivale, le nombre d'animaux au bâtiment et la ration alimentaire sont plus variables puisqu'à cette période l'éleveur ajuste le temps de séjour au bâtiment et les rations en fonction de la disponibilité en herbe.

FEUILLE DE ROUTE - Fréquence de raclage

Fréquence 2 - propre	
Heure	Route
01:00	2
02:00	1
03:00	3
04:00	2
04:45	2
05:25	1
06:00	2
06:45	1
07:40	2
08:30	2
09:15	3
10:00	2
11:00	1
12:00	2
13:00	2
13:45	1
14:30	1
15:40	1
16:15	3
17:00	2
18:20	2
19:00	2
19:40	2
20:00	2
21:00	1
22:00	1
23:30	1
	TOT : 8h50
Tracteur	2X matin et soir
circuit logette pailler	

Fréquence 1 - sale	
Heure	Route
01:00	2
03:00	3
04:45	2
07:40	2
09:15	3
10:00	2
13:00	2
16:15	3
18:20	2
22:00	2
	TOT : 3h12
Tracteur	1X matin
circuit logette pailler + table d'alim (route 1)	

route 1	Table d'alim
route 2	Cul des logettes
route3	finitions

Tableau 2 : Exemple des fréquences de raclage mises en place sur l'une des exploitations pendant les essais.

Deux types d'instruments de mesures des concentrations d'ammoniac ont été choisis pour cet essai :

- Des tubes passifs radiello répartis à plusieurs endroits du bâtiment afin d'avoir une information sur la représentation spatiale des concentrations en ammoniac. Ces tubes sont placés pendant une semaine puis changés. Une concentration moyenne hebdomadaire est donc obtenue.

Figure 2 : Photo d'un abri de tubes passifs installé dans l'un des bâtiments.

- Un micro-capteur NEMo Extérieur loué de Ethera par bâtiment afin d'avoir une information en continu et ainsi avoir une information sur la variation temporelle des concentrations en ammoniac. Les micro-capteurs fournissent également des données météo (température, humidité et pression).

Figure 3 : Photo du capteur et d'un abri de tubes passifs installés dans l'un des bâtiments.

Les micro-capteurs d'ammoniac ont encore besoin d'être améliorés et il est connu qu'il est difficile d'obtenir les mêmes valeurs de concentrations en ammoniac avec deux techniques de mesure différentes. L'intérêt de combiner ces 2 méthodes de mesure est donc d'apporter deux informations différentes et pas de comparer les niveaux obtenus avec l'une ou l'autre des méthodes.

Les répartitions des tubes passifs dans les 2 bâtiments sont présentées en figure 4. Le capteur de la ferme n°1 est installé à proximité du point E et celui de la ferme n°2 à proximité du point A.

Figure 4 : Localisation des points de mesure par tubes passifs dans la ferme n°1 (en haut) et dans la ferme n°2 (en bas).

2.2. Protocole n°2 – Brassage de fosse

Le protocole associé au questionnement sur le brassage des fosses a été testé dans une seule ferme car l'objectif premier était d'abord de constater si les concentrations en ammoniac dans l'air ambiant évoluaient avant et après le brassage du lisier.

La sélection de la ferme s'est faite en sélectionnant une ferme sans couverture de fosse afin d'éviter l'influence d'une éventuelle couverture sur les flux et le débit d'air. Aussi, il a été choisi une exploitation qui a l'habitude de pratiquer le brassage régulier de son lisier.

Le test a été réalisé sur une durée de 1 mois et en période hivernale car en condition réelle les éleveurs brassent leur lisier principalement à cette période. Il a été demandé à l'agriculteur de réaliser des brassages d'environ 20 minutes avec des intervalles de pause de plus de 4h.

Pour cet essai, il a été décidé d'effectuer des mesures avec un micro-capteur NEMo Extérieur loué par la marque TERA. En effet, l'utilisation de tubes radiello risquait de ne pas répondre à la problématique en ne fournissant qu'une donnée par semaine. L'intérêt du micro-capteur est, ici, d'avoir une mesure de concentrations à la minute afin d'observer de potentielles variations. Tel que pour les mesures en bâtiments, le micro-capteur fournit également une information sur les mesures de température, humidité et pression.

Figure 5 : Photo de l'abri du capteur NEMo installé près de la fosse.

2.3. Descriptif de la méthode de mesure par tubes passifs

L'échantillonnage passif est une technique de mesure courante dans la surveillance de la qualité de l'air. Sa facilité de mise en œuvre et son faible coût permettent la réalisation de mesures simultanées sur plusieurs sites.

La technique s'appuie sur le principe du transfert de matière par diffusion sous l'effet d'un gradient de concentration. Le polluant est piégé sur un support imprégné d'une substance chimique adaptée à l'adsorption du polluant recherché. Les tubes à diffusion passive utilisés dans le cadre de cette étude

(de marque Radiello) sont constitués d'un corps diffusif (membrane poreuse en polyéthylène) et d'une cartouche de prélèvement, imprégnée d'acide phosphorique. L'ammoniac est ainsi piégé sous forme d'ion ammonium (NH_4^+).

Les échantillonneurs passifs ont été exposés dans l'air ambiant pendant une période de sept jours, puis analysés ultérieurement par un laboratoire sous-traitant. La concentration atmosphérique moyenne sur la période d'échantillonnage a été calculée à partir de la masse piégée, d'un débit d'échantillonnage (recommandé par le LCSQA) et d'une durée d'exposition connue.

La limite de quantification de la méthode est de 0,6 µg/m³ pour l'ammoniac.

2.4. Descriptif des micro-capteurs NEMo

Le capteur NEMo Extérieur de Ethera est une station de suivi de la qualité de l'air extérieur pouvant mesurer en continu plusieurs paramètres. Dans le cadre de cette étude, seule la mesure du polluant NH_3 a été sélectionnée. Des mesures de température, d'humidité et pression ont également été retenues.

Ce capteur peut fonctionner sur batterie, alimentation électrique ou panneau solaire et dispose d'une mémoire interne ainsi que d'une compatibilité avec les réseaux IoT. Il est donc facile de l'installer sur un bâtiment ou du mobilier urbain et d'accéder aux données en temps réel. Lors de cette étude, le capteur a été branché sur une alimentation électrique.

La gamme de mesure d'ammoniac du capteur NEMo est de 0 à 25 ppm avec une limite de détection à 0,5 ppm.

3. Résultats

3.1. Fréquence de raclage

a. Résultats des tubes passifs

L'étude des mesures par tubes passifs permet d'avoir une information spatiale sur les concentrations en ammoniac puisque 5 tubes ont été répartis dans chacun des 2 bâtiments. Une présentation de l'ensemble de ce jeu de données va être faite ci-dessous. Ensuite, des concentrations moyennes de l'ensemble de tubes seront présentées pour comparer les semaines de mesures les unes avec les autres et les résultats d'un bâtiment à l'autre.

❖ Résultats détaillés de chaque point de mesure

<u>Au niveau de la ferme n°1 :</u>

La figure 6 présente les concentrations en ammoniac mesurées au niveau de chacun des points de la ferme n°1 en hiver et en été. Tout d'abord, des niveaux plus faibles sont mesurés pendant la campagne estivale que pendant la campagne hivernale (maximum à 1846 µg/m³ au niveau du point

E en hiver et à 785 µg/m³ au niveau du point B en été). Cette différence est certainement liée à une présence moins importante des vaches pendant l'été.

Durant l'hiver, une différence dans les niveaux de concentrations mesurées est observée entre les points D et E qui présentent les concentrations les plus élevées et les autres points de mesure. Le point C présente les concentrations les plus faibles quel que soit la semaine de mesure. Les points D et E sont au cœur de la zone d'activité des animaux, contrairement aux autres points qui sont en périphéries.

Cette différence n'est pas observée pendant l'été, saison durant laquelle les niveaux entre les points sont beaucoup plus homogènes. On peut supposer que c'est lié à la moindre présence des animaux au bâtiment sur cette période.

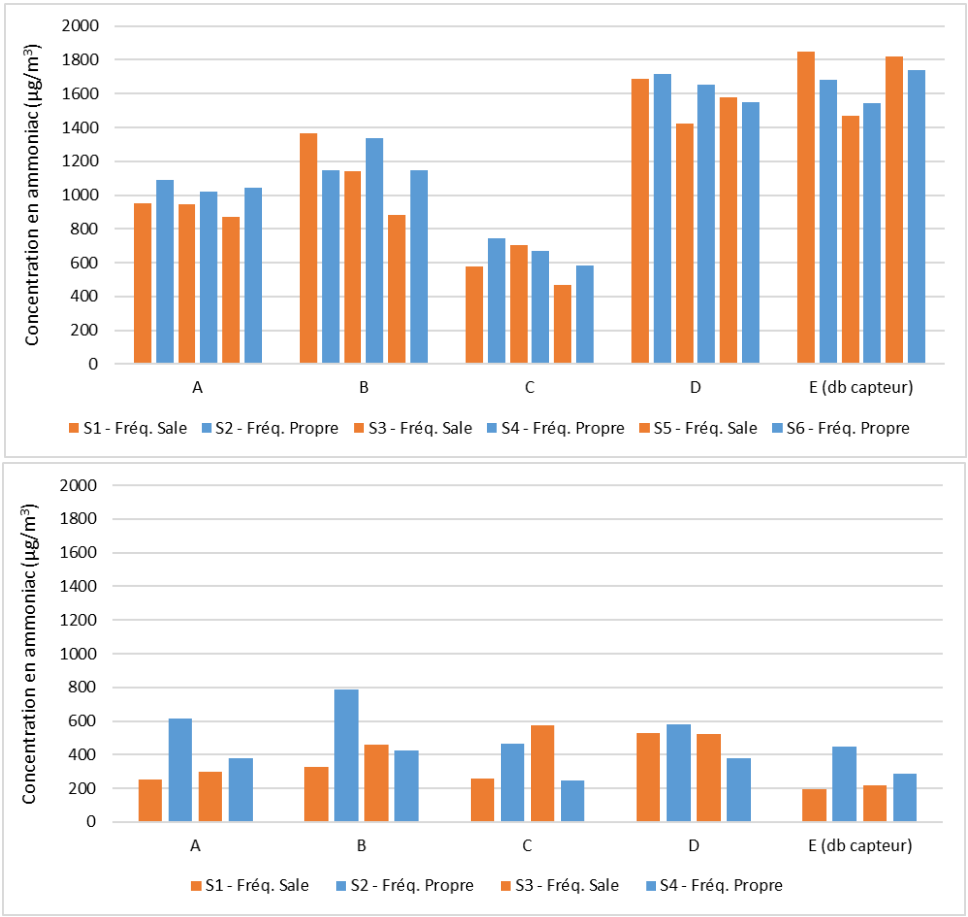

Figure 6 : Concentrations en ammoniac au niveau de chaque point de mesure pendant la campagne hiver (en haut) et la campagne été (en bas) dans le bâtiment n°1.

Au niveau de la ferme n°2 :

Sur la ferme n°2, la même observation est faite sur les niveaux observés en hiver et en été. Le maximum mesuré en hiver est proche de celui mesuré dans la ferme n°1 (1702 µg/m³ au niveau du point A) et un maximum légèrement plus élevé en été (1087 µg/m³).

Ici encore, des points de mesures présentent des concentrations plus élevées quel que soit la semaine de mesure. Il s'agit des points A et B et on retrouve cette différence aussi bien en hiver qu'en été. Cette différence de niveaux mesurés aux points A et B par rapport aux autres points est cohérente par rapport aux activités du bâtiment. En effet, cette partie du bâtiment est particulièrement empruntée par les animaux, car elle se situe au niveau du distributeur automatique d'aliments et à proximité de l'aire d'attente de la salle de traite.

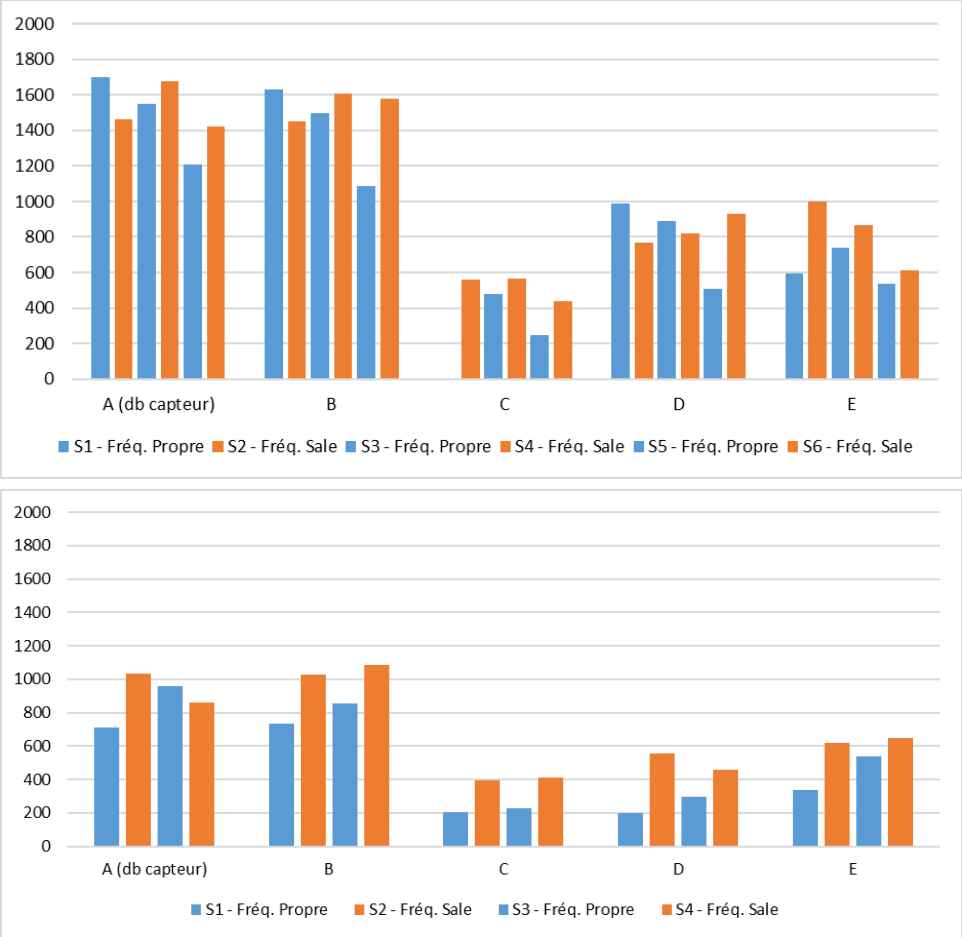

Figure 7 : Concentrations en ammoniac au niveau de chaque point de mesure pendant la campagne hiver (en haut) et la campagne été (en bas) dans le bâtiment n°2.

❖ Résultats des concentrations moyennes de l'ensemble des tubes

La figure 8 présente les niveaux mesurés en moyenne par l'ensemble des tubes installés dans le bâtiment 1 pour chaque semaine des 2 campagnes. L'alternance des fréquences de raclage a été reprise afin d'observer si les variations de concentrations sont corrélées avec les différences de fréquence des raclages. D'après ces mesures, il est difficile d'observer une tendance. En effet, des niveaux plus élevés sont parfois mesurés pendant une semaine dite « propre » que pendant une semaine dite « sale » (ex : semaine 2 de la campagne été par rapport aux semaines 1 et 3). Par ailleurs, durant la campagne hivernale, la variation de concentrations entre les semaines à différentes fréquences de raclage est assez faible (-13% en semaine 5 de la campagne hiver par rapport à la semaine 1, maximum de la campagne hiver).

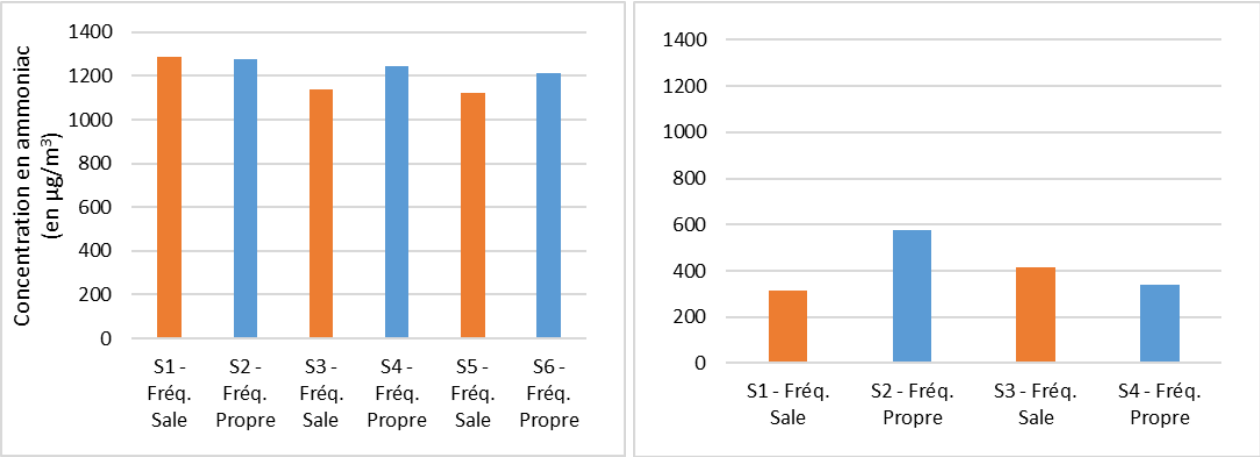

Figure 8 : Concentrations moyennes de l'ensemble des tubes pour chaque semaine en hiver (à gauche) et en été (à droite) dans la ferme n°1.

La figure 9 présente le même type de résultats mais pour le bâtiment n°2. Les mêmes conclusions peuvent être faites pour la campagne hiver : il est difficile d'observer une corrélation entre les niveaux mesurés en ammoniac et la variation des fréquences de raclage. Toutefois, durant la campagne été, des concentrations plus faibles sont observés pendant les 2 semaines de fréquence propre que pendant les 2 semaines de fréquence sale.

Cependant, il est assez difficile de tirer une conclusion sur l'influence de la fréquence des raclages en se basant sur 4 semaines pendant l'été alors que de telles observations n'ont pu être faites sur l'autre site et durant la saison hivernale.

Les concentrations moyenne de l'ensemble des tubes mesurées sur les 2 fermes ont été comparées afin d'identifier d'autres facteurs susceptibles d'expliquer les variations de concentrations d'une semaine sur l'autre. Ces résultats sont visibles sur la figure 10. Concernant les niveaux mesurés, ils sont plus importants sur la ferme n°1 pendant l'hiver, et au contraire, plus importants sur la ferme n°2 pendant l'été. Le niveau plus élevé pendant l'hiver sur la ferme n°1 peut être lié à une densité d'animaux plus importante que dans la ferme n°2 et dans un bâtiment plus ancien. Pendant l'été, l'agriculteur de la ferme n°1 effectuait des travaux pour rénover son bâtiment. En plus des vaches moins présentes dans le bâtiment (comme dans la ferme n°2), en raison des travaux le bâtiment était ouvert ce qui peut expliquer des niveaux plus faibles que dans la ferme n°2.

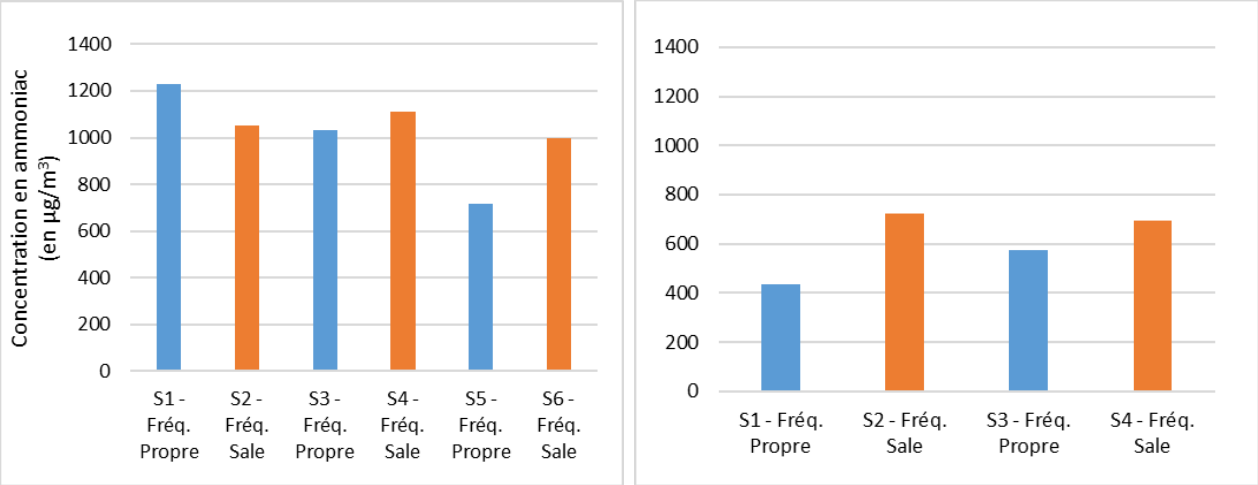

Figure 9 : Concentrations moyennes de l'ensemble des tubes pour chaque semaine en hiver (à gauche) et en été (à droite) dans la ferme n°2.

Par ailleurs, une assez bonne corrélation de l'évolution des concentrations d'une semaine à l'autre est observée entre les 2 bâtiments et sur les deux saisons (excepté semaine 5 de la campagne hiver et semaine 4 de la campagne été). Cette observation peut révéler une influence de la météo sur les concentrations mesurées en ammoniac dans les bâtiments, influence plus importante que les variations des fréquences de raclage.

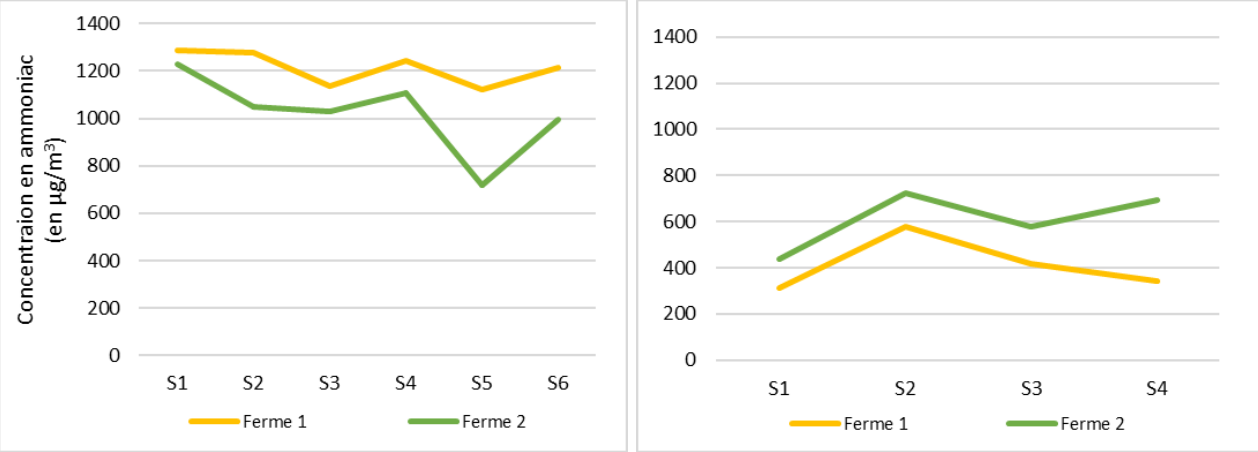

Figure 10 : Concentrations en ammoniac mesurées sur les 2 fermes pendant la campagne hiver (à gauche) et pendant la campagne été (à droite).

❖ Comparaison à d'autres données de la littérature

Atmo Bourgogne France Comté a réalisé une campagne de mesures (Atmo Bourgogne Franche Comté, Septembre 2023) par badges passifs du mois de mars 2022 au mois d'avril 2023. Les badges passifs sont une technique de mesure similaire à celle des tubes passifs.

L'un des sites de mesure était à l'intérieur d'un élevage allaitant. Les techniques de mesures utilisées étant proches et les typologies du site de mesure également, il a été décidé de comparer les données obtenues dans les fermes n°1 et n°2 avec les données d'Atmo Bourgogne Franche Comté. A noter que leur campagne a duré pendant plus d'un an. La comparaison est donc à titre indicative puisque le nombre d'échantillons est, ici, beaucoup plus faibles (10 semaines de prélèvement réparties sur la campagne hiver et été ; 5 prélèvements par bâtiments).

Valeurs statistiques ($\mu g/m^3$)	Ferme n°1	Ferme n°2	Site n°16 Atmo BFC
Q1	460	537	463
Médiane	766	771	606
Moyenne	893	856	588
Q3	1359	1086	780
Maximum	1846	1702	1341

Tableau 3 : Valeurs statistiques en ammoniac mesurées par tubes passifs dans les 2 bâtiments d'élevage comparés aux valeurs statistiques obtenues dans un bâtiment d'élevage laitier en Bourgogne Franche Comté.

En considérant les limites de la comparaison (techniques de mesures différentes, périodes plus courtes pour la période d'expérimentation sur le territoire pilote), des valeurs du même ordre de grandeur que celles obtenues dans le bâtiment d'élevage laitier en Bourgogne France Comté sont observées.

b. Résultats des micro-capteurs

❖ Résultats de la ferme n°1

Les capteurs fournissent une donnée toutes les 10minutes, il a été décidé d'étudier ces données, dans un premier temps, à l'échelle de la journée, échelle plus fine que l'échelle hebdomadaire obtenue avec les tubes passifs.

Seules les données de la campagne hivernale sont présentées pour la ferme n°1 car trop de données étaient en-dessous de la limite de détection durant la campagne estivale. Cela est très certainement lié aux travaux dans le bâtiment, l'ouverture vers l'extérieur diluant les concentrations mesurées comme cela était visible sur les concentrations hebdomadaires obtenues avec les tubes passifs.

La figure 11 présente ces concentrations, le changement de fréquence de raclage est indiqué ainsi que la vitesse du vent. Il est difficile d'observer une corrélation entre le changement de fréquence de raclage et les concentrations en ammoniac, tel que cela a été également observé via les concentrations obtenues par les tubes passifs. En revanche, les concentrations journalières en ammoniac semblent assez bien anti-corrélées à la vitesse du vent mesurées par la station météo installée sur le site nord du réseau de mesure déployé sur le territoire pilote (Air Breizh, 2023). En effet, en général, on observe des concentrations en ammoniac plus fortes lorsque la vitesse du vent diminue ; et les concentrations diminuent lorsque la vitesse du vent est plus élevée (à peu près

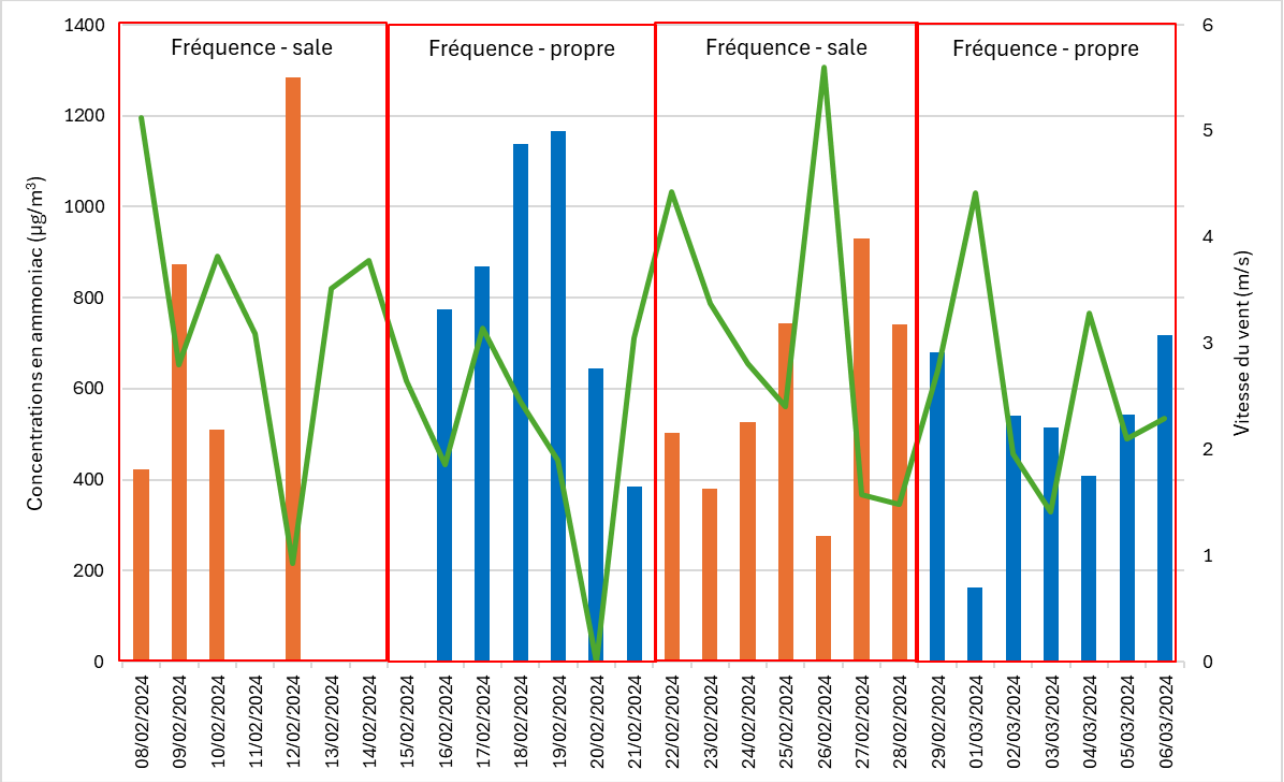

Figure 11 : Concentrations journalières en ammoniac mesurée par micro-capteur sur la ferme n°1 et vitesse du vent mesurée sur le site nord du réseau de mesure LIFE ABAA durant la campagne hivernale.

supérieure à 4m/s).

❖ Résultats de la ferme n°2

Comme au niveau de la ferme n°1, et ce pendant les deux saisons, il est difficile d'observer une corrélation entre les niveaux d'ammoniac journaliers mesurés et les fréquences de raclage (figure 12). Cependant, il est observé, en hiver, également des concentrations plus faibles lorsque la vitesse du vent est plus élevée.

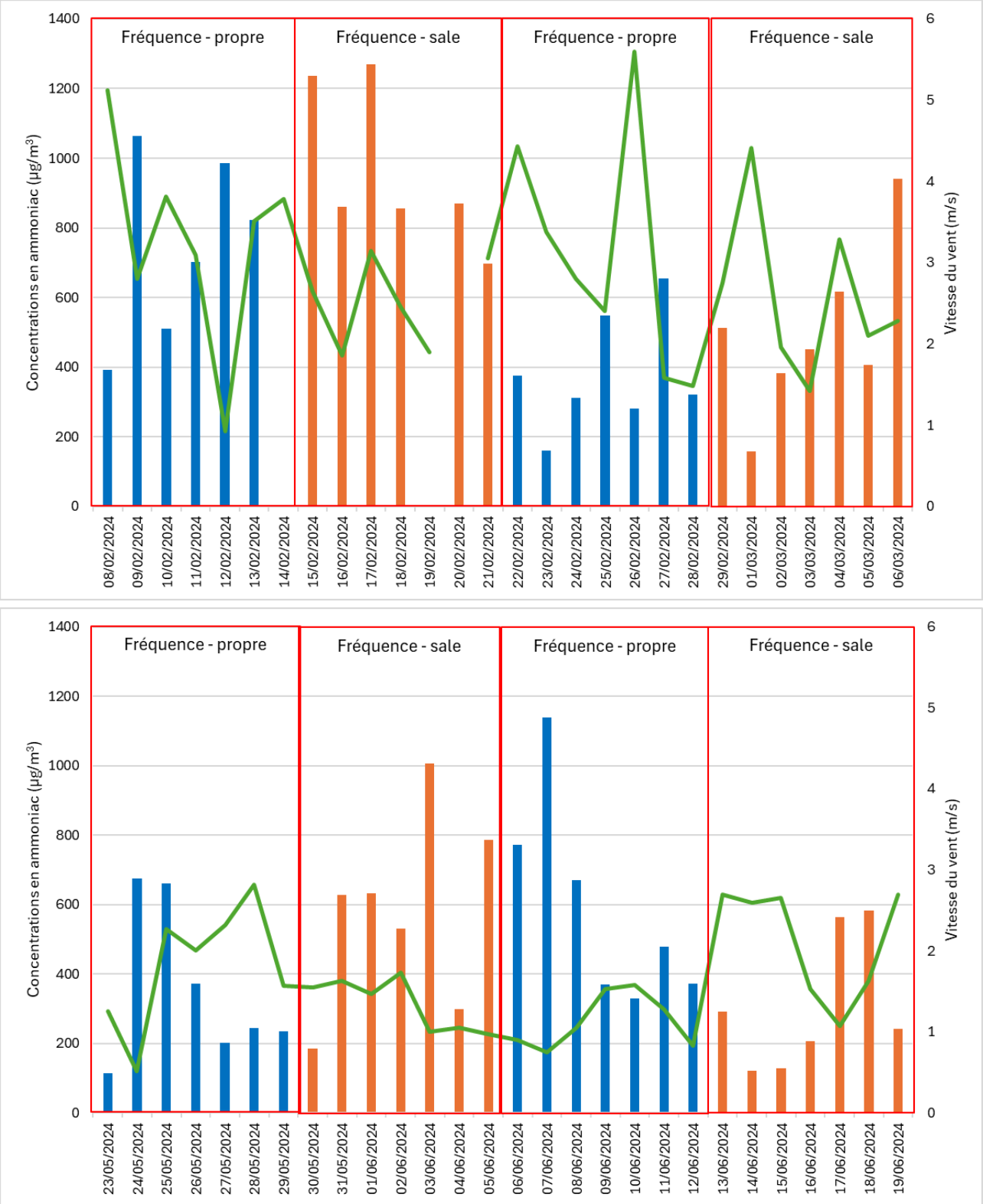

Figure 12 : Concentrations journalières en ammoniac mesurée par micro-capteur sur la ferme n°2 et vitesse du vent mesurée sur le site nord du réseau de mesure LIFE ABAA durant la campagne hivernale (en haut) et durant la campagne estivale (en bas).

Durant la campagne estivale, les vitesses de vent étant plus faibles (maximum à 3m/s quand il est de 6 m/s durant l'hiver), l'observation est plus difficile à faire. Toutefois, durant les journées les plus venteuses (27 au 29 mai ; 13 au 15 juin et 19 juin), les niveaux les plus faibles en ammoniac sont mesurées.

Une influence de la météo avait été suspectée via l'étude des concentrations obtenues par tubes passifs puisque les concentrations évoluaient de manière identique sur les deux sites. Les mesures via micro-capteurs semblent valider cette hypothèse avec un impact du vent sur les niveaux en ammoniac dans les bâtiments bovins. En effet, ces bâtiments étant relativement ouverts, il semblerait que plus le vent est important et plus cela dilue les concentrations dans le bâtiment, en les transférant vers l'extérieur. Au contraire, lorsque la vitesse du vent est faible, l'ammoniac présent dans le bâtiment stagne.

Les données minutes (une donnée disponible toutes les 10 minutes) ont été étudiées afin d'estimer si un impact du raclage était visible quelques minutes après le passage du robot. Toutefois, aucune corrélation claire n'a pu être réalisée.

❖ Tests statistiques

Des tests de corrélation (test de Pearson) ont été réalisés afin d'étudier le lien entre les concentrations en ammoniac mesurées par les micro-capteurs et les conditions météos issues des données météo des micro-capteurs, complété par celle de la base de données de la plateforme Weather Measure sur la commune de Locmaria-Plouzane. Les données journalières ont été utilisées pour cette analyse. L'indicateur p-value communique une information sur le degré de risque réel encouru lors de l'analyse des données de l'échantillon. La p-value est le degré de significativité d'un test. Plus sa valeur est petite et moins on a de chance de se tromper sur le résultat du test.

- Si p-value <0.05, le résultat est sûr à 95%.
- Si p-value < 0.001, le résultat est sûr à 99,9%.

Deux analyses ont été effectuées :

- Une à partir des données issues de la phase d'essai d'hiver qui comporte les données des deux fermes sur 27 jours
- Une sur la phase d'essai de printemps avec une seule ferme sur 28 jours.

Sur la figure 13, on observe que pendant la campagne hivernale les concentrations d'ammoniac sont assez bien corrélées avec la température ambiante. L'analyse de corrélation (tableau 4) confirme le lien de corrélation positive de la température avec les concentrations d'ammoniac avec un p-value = 4.319e-11. La corrélation observée entre la température ambiante et les concentrations d'ammoniac durant l'hiver n'est pas observée au printemps (figure 14). Cela peut être dû à des variations de températures moins importantes que pendant l'hiver et un jeu de données plus restreint que pendant l'hiver puisque seules les concentrations d'ammoniac de la ferme n°2 ont pu être utilisées.
On observe également une corrélation négative de la vitesse de vent avec les concentrations en ammoniac en hiver et au printemps (p-value hiver= 2.941e-05 ; p-value printemps= 3.54E-05).

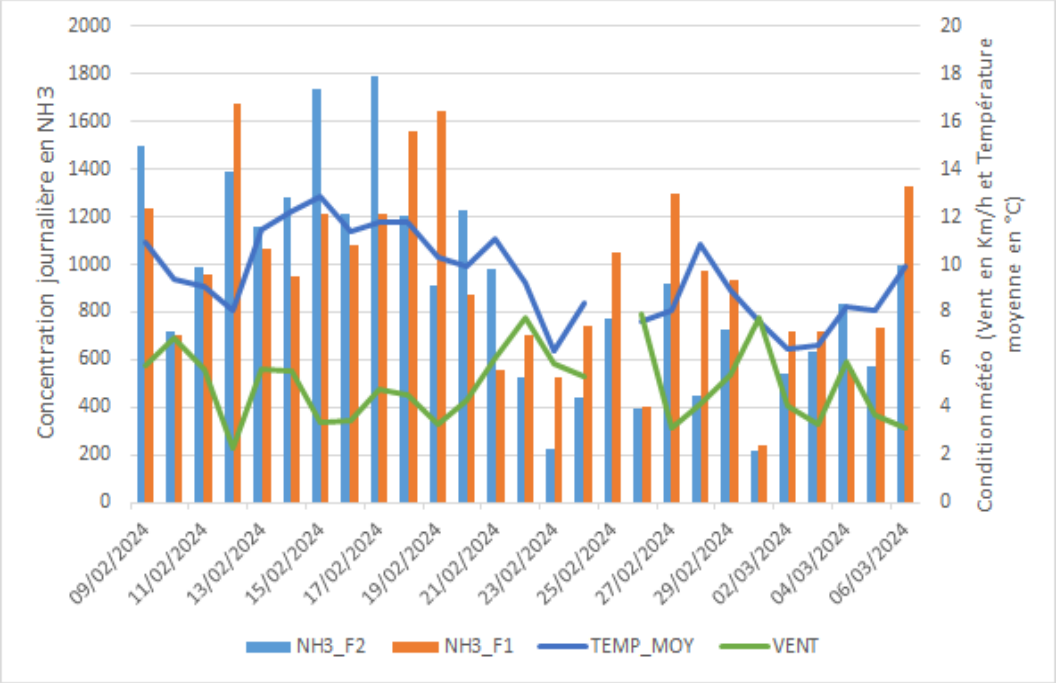

Figure 13 : Concentrations journalières en ammoniac dans les fermes 1 et 2 (NH3_F1 ; NH3_F2) et les conditions météo journalières sur les essais d'hiver (TEMP_MAX (Température maximum), TEMP_MIN (Température minimum), TEMP_MOY (Température moyenne), VENT.

		Hiver (n=54 - 2 Fermes)		Printemps (n=28 - 1 Ferme)	
Données Météos		Indice de corrélation	P-value	Indice de corrélation	P-value
Températures – micro-capteur		0.8	4.32E-11	0.2	0.317
Pression atmosphérique - micro-capteur		0.4	0.003	0.5	0.008
Humidité relative - micro-capteur		0.5	7.07E-05	-0.4	0.020
Vent - weather measure data		-0.5	2.94E-05	-0.7	3.54E-05
Température maximum - weather measure data		0.6	4.33E-07	0.3	0.127
Tempréture minimum - weather measure data		0.5	3.45E-04	-0.6	0.001
Température moyenne - weather measure data		0.6	1.08E-06	-0.1	0.742
Précipitation - weather measure data		-0.4	0.008	-0.2	0.249

Tableau 4 : Tableau de corrélation entre les valeurs de concentration journalière en ammoniac et les conditions météo sur les essais d'hiver (n=54, 2 fermes) et les essais de printemps (n=28, 1 ferme)

Ces tests viennent confirmer l'influence de la météo sur la variation des concentrations d'ammoniac.

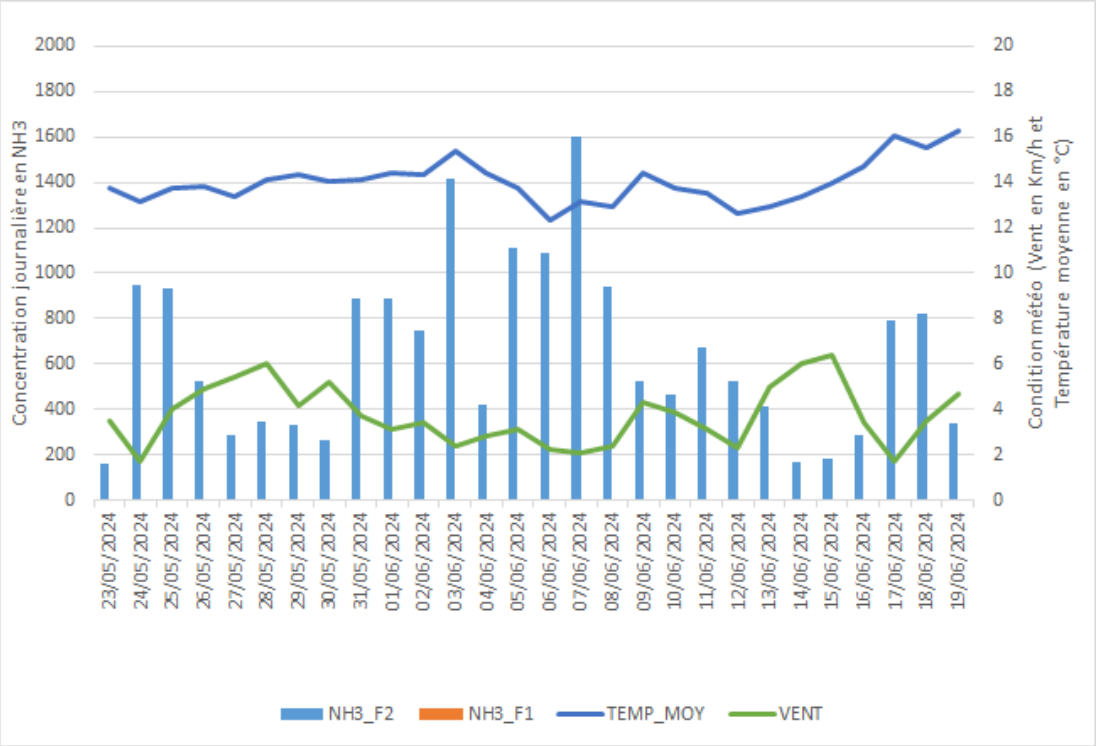

Figure 14 : Concentrations journalières en ammoniac dans les fermes 1 et 2 (NH3_F1 ; NH3_F2) et les conditions météo journalières sur les essais d'été (TEMP_MAX (Température maximum), TEMP_MIN (Température minimum), TEMP_MOY (Température moyenne), VENT.

c. Comparaison des résultats obtenus par tubes passifs et avec les micro-capteurs

Les capteurs et les tubes passifs n'ont pas été installés dans le but de comparer les niveaux en tant que tels car il est connu que les différentes techniques de mesure d'ammoniac peuvent avoir des différences dans les mesures obtenues. Comme décrit au début de cette note, ces deux techniques de mesures ont été installées pour être complémentaire :

- Avoir une information sur la variabilité spatiale à l'aide des tubes passifs,
- Avoir une information sur la variabilité temporelle, à une fine échelle, à l'aide des micro-capteurs.

Toutefois, à titre d'information, une comparaison des résultats obtenus par tubes passifs et par micro-capteur est présentée ci-dessous. Il est observé une concentration systématiquement plus faible via les micro-capteurs que via les tubes passifs aussi bien sur la ferme n°1 (figure 13) que sur la ferme n°2 (figure 14) et en hiver qu'en été.

Les concentrations mesurées sont jusqu'à 73% plus faibles que celles mesurées par tubes passifs durant l'hiver sur la ferme n°1 et jusqu'à 69% sur la ferme n°2. Les écarts sont moins importants durant l'été, sur la ferme n°2 : au maximum, les concentrations mesurées par micro-capteurs sont 50% plus faibles que par tubes passifs.

Par ailleurs, sur la ferme n°1, les niveaux ne varient pas de la même façon avec les deux techniques de mesure d'une semaine à l'autre. En revanche, sur la ferme n°2, aussi bien en hiver qu'en été, il est observé une évolution similaire des niveaux mesurés d'une semaine sur l'autre.

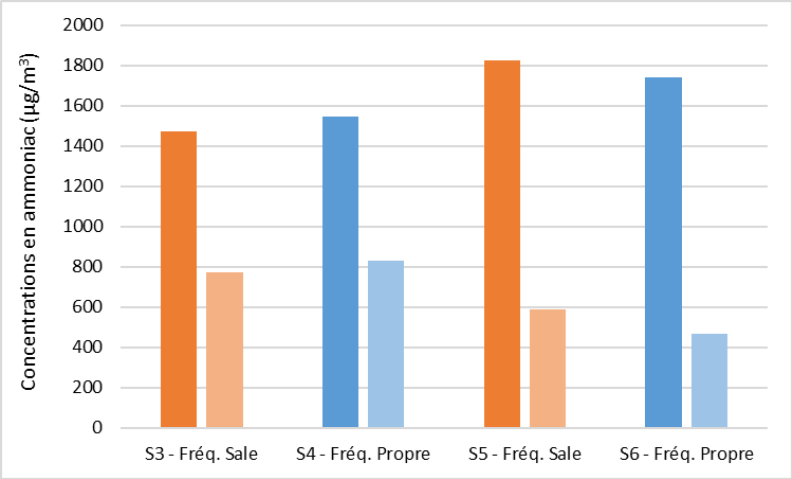

Figure 16 : Concentrations en ammoniac par tubes passifs (teinte foncée) et par micro-capteur (teinte claire) pendant l'hiver sur la ferme n°1.

Ces résultats confirment donc la difficulté de comparer ces deux techniques de mesure d'ammoniac. Il vaut mieux les utiliser en parallèle afin de recueillir les informations différentes et complémentaires qu'elles apportent et en ne considérant pas la valeur d'ammoniac mesurée avec trop d'importance.

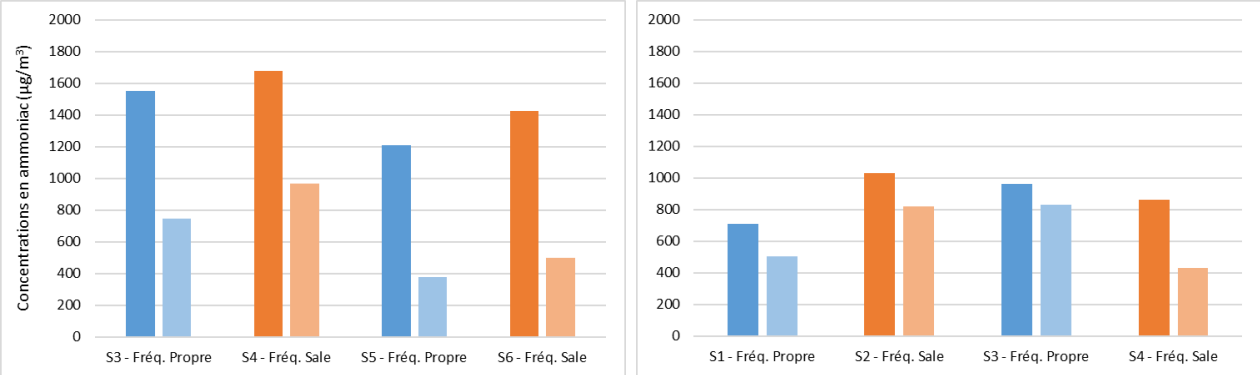

Figure 15 : Concentrations en ammoniac par tubes passifs (teinte foncée) et par micro-capteur (teinte claire) pendant l'hiver (à gauche) et pendant l'été (à droite) sur la ferme n°2.

3.2. Brassage de fosse

L'essai sur le brassage de fosse a été réalisé dans une exploitation du groupe pionnier du 8 février au 7 mars 2024. L'agriculteur a brassé son lisier les 19, 20 février et 7 mars à raison de 1 à 2 fois par jour pendant 20 minutes. Le capteur fourni une donnée toutes les 10 minutes. Toutefois, aucune conclusion n'a pu être tirée de cet essai car les niveaux mesurés étaient trop faibles. Cela peut s'expliquer via différentes hypothèses :

- Peu d'impacts du brassage de la fosse sur les niveaux de concentrations en ammoniac par rapport au niveau mesurés le reste du temps sur une exploitation dans l'air ambiant,
- Des niveaux en ammoniac liés au brassage de la fosse qui augmentent mais de manière trop ponctuelle pour être détectés par le micro-capteur,
- Une dilution des niveaux mesurés trop rapide après le brassage,
- Une orientation de vent dispersant les concentrations d'ammoniac dans une autre direction que celle où était placée le capteur.

Le matériel et le protocole déployés ne semblaient donc pas idéales pour répondre à cette problématique.

4. Conclusion et perspectives

Aucun lien de corrélation n'a pu être mis en évidence sur cet essai entre les concentrations d'ammoniac et la fréquence de raclage dans les bâtiments bovins lait.

En revanche, on a pu constater un lien entre les concentrations en ammoniac mesurés au sein des bâtiments bovins ouverts et les conditions météo (température et vent).

Il peut être supposé que soit la variable météorologique influence de telle façon à masquer les effets du raclage sur les mesures des concentrations en ammoniac. Soit les effets du raclage sur les concentrations en ammoniac ne sont pas suffisants pour mesurer une différence avec les outils de mesure.

Cet essai montre la difficulté de mesurer l'impact des pratiques sur les concentrations en ammoniac en bâtiment en ventilation naturelle et en conditions non contrôlées. Un échange avec Nadège Edouard de l'INRAE a permis de mettre en avant les axes d'amélioration du protocole pour d'éventuels projets futurs :

- Ajout d'appareils de mesure en plusieurs points à l'extérieur du bâtiment afin d'avoir une information sur les niveaux en ammoniac mesurés également à l'extérieur du bâtiment,
- Ajout d'un protocole de récupération de données fines des pratiques exercées dans le bâtiment (portes fermées ou non, horaires précis des différentes activités, etc.),
- Ajout d'appareils de mesure du dioxyde de carbone afin d'étudier l'évolution de ces concentrations en parallèle de l'évolution des concentrations d'ammoniac. Si les 2 gaz évoluent de la même manière dans le temps, cela signifie que l'influence de la météo domine. S'ils évoluent différemment, il y a un impact de la pratique agricole qui influence les concentrations

en ammoniac. Cela permet d'obtenir une information sur le taux de renouvellement de l'air au sein du bâtiment étudié.

Ces protocoles ont été expérimentés et sont détaillés dans plusieurs articles scientifiques apportant des informations telles que le nombre de capteurs nécessaire selon la longueur du bâtiment (Mendes et al., , 2015).

Des études réalisées avec des protocoles différents (entre autres mesures d'émissions d'ammoniac et non de concentrations) sont arrivées à la conclusion que l'utilisation de racleurs, au niveau des couloirs d'alimentation où s'accumule la majorité des excréments, augmente les émissions d'ammoniac. En effet, l'étalement de l'urine et l'augmentation de la surface d'échange d'air favorisent la volatilisation de l'ammoniac (C. Baldini et al,. , 2016). Toutefois, une autre étude met en avant que plus la litière s'accumule longtemps, plus les émissions de gaz peuvent être élevées (Edouard et al., , 2019), tandis que les résultats d'essais en bâtiments ont montré qu'une augmentation de la fréquence de raclage du sol d'étables à stabulation libre de 2 à 6 fois par jour avait peu d'effet sur la volatilisation de l'ammoniac (Moreira & Satter., 2006).

Par ailleurs, il a déjà été observé, dans des bâtiments d'élevage en activité (et non des fermes expérimentales), que les facteurs environnementaux pouvaient avoir plus d'effet sur les émissions d'ammoniac que les facteurs liés à l'activité dans le bâtiment (Qingbo et al.)

Il apparaît donc que les résultats obtenus sur ce sujet sont fortement dépendant du type de protocole de mesures utilisé. La multiplication de travaux sur le sujet et avec des méthodes normalisées permettront de dresser des conclusions solides sur le sujet et de réduire la variabilité et l'incertitude importante (Qingbo et al.).

Concernant les mesures de concentrations en ammoniac à proximité d'une fosse ouverte, aucune mesure concluante n'a pu être faite. Le protocole ne semblant pas pertinent pour répondre à ce questionnement, il faudrait envisager des mesures d'émission en ammoniac en air ambiant comme peut le faire certaines équipes de l'INRAE via des protocoles spécifiques et approuvés depuis plusieurs années.

5. Références bibliographiques

Air Breizh. (2023). *Bilan de l'installation du dispositif de surveillance - Projet LIFE ABAA.*

Atmo Bourgogne Franche Comté. (Septembre 2023). *L'ammoniac atmosphérique - De la caractérisation des sources aux leviers d'actions pour réduire les émissions.*

C. Baldini et al,. . (2016). Comparison among NH3 and GHGs emissive patterns from different housing solutions of dairy farms. *Atmospheric Environment*.

Edouard et al., . (2019). Influence of diet and manure management on ammonia and greenhouse gas emissions from dairy barns. *Animal*.

Mendes et al., . (2015). NDIR Gas Sensor for Spatial Monitoring of Carbon Dioxide Concentrations in Naturally Ventilated Livestock Buildings. *Sensors*.

Moreira & Satter. (2006). Effect of Scraping Frequency in a Freestall Barn on Volatile Nitrogen Loss from Dairy Manure. *J. Dairy Sci.*

Qingbo et al. (s.d.). Effects of housing system, measurement methods and environmental factors on estimating . *Biosystems Engineering - Elsevier*.

Financeurs du projet

Le projet ABAA est lauréat du programme LIFE de l'Union Européenne et a le soutien financier de la région Bretagne ainsi que du Plan Régional Santé Environnement piloté par le préfet de région, l'Agence Régionale de Santé et le conseil régional.

Le PRDA de Bretagne apporte son soutien à la Chambre régionale d'Agriculture et le Réseau Mixte Technologique Bouclage a labellisé le projet ABAA.

Pour plus d'informations sur le rapport ou le projet :

Lifeabaa2021@airbreizh.asso.fr

https://lifeabaa2021.eu