



# APPLICATION ET EVALUATION DU PROTOCOLE DES CADRES

Version du 20/06/2025

[Lifeabaa2021@airbreizh.asso.fr](mailto:Lifeabaa2021@airbreizh.asso.fr)

<https://lifeabaa2021.eu>



## 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 régionale d'Agriculture de Bretagne (CRAB).



## 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 1<sup>er</sup> 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 CRAB, 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](http://www.airbreizh.asso.fr)).

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

Air Breizh et la CRAB 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 points de vue et opinions exprimés n'engagent toutefois que leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'Union européenne ou de la CINEA. Ni l'Union européenne ni l'autorité octroyant la subvention ne peuvent en être tenues responsables.

## Organisation interne – contrôle qualité

Projet :	Nom du rapport d'étude		
Version (date)	Modifications	Auteur	Validation
<i>Version du 20/06/2025</i>		Francesca Aloisi Lucas Bothorel Didier Debroize	Léna Oddos

# Sommaire

<b>1. Summary .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Contexte .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Typologie des épandages suivis .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Résultats des suivis par la méthode des cadres .....</b>	<b>11</b>
4.1. Résultats et discussion sur l'ensemble des suivis réalisés .....	11
4.2. Discussion sur les conséquences sur le tassement du sol des méthodes d'épandage .....	14
<b>5. Conclusion et perspectives.....</b>	<b>16</b>

## Sigles et abréviations :

ABAA = Ammonia in Brittany's Ambient Air

CIVE = Culture Intermédiaire à Valeur Energétique

CAB = Chambre d'Agriculture de Bretagne

CUMA = Coopérative d'Utilisation de Matériels Agricoles

ETA = Entreprise de Travaux Agricoles

EOL = Effluent Organique Liquide

NH<sub>3</sub> = Ammoniac

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = Ammonium

pH = potentiel Hydrogène

PSL = Pourcentage de Surface couverte par du Lisier (ou autre produit résiduel organique)

PM<sub>2,5</sub> = Particules fines solides de diamètres inférieurs à 2,5 µm

Rcmdr = Rcommander

## Liste des figures :

FIGURE 1: TWO EXAMPLES OF SPREADING MONITORING FRAMES PLACED ON THE GROUND FOR SCORING PURPOSES .....	5
FIGURE 2: RATING SCALE FOR ASSESSING THE PERCENTAGE OF SOIL AREA COVERED BY MANURE .....	5
FIGURE 3: RESULT OF THE 63 RATINGS REALIZED ON THE PILOT TERRITORY .....	6
FIGURE 4 : : EN HAUT A GAUCHE : EPANDAGE SUR BLE A L'ENFOUSSEUR A DISQUES PRAIRIE DE DIGESTAT BRUT PHASE LIQUIDE (DOSE DE 30 M <sup>3</sup> /HA). EN HAUT A DROITE : EPANDAGE SUR CIVE (SEIGLE) A L'ENFOUSSEUR A DISQUES PRAIRIE DE DIGESTAT BRUT (DOSE DE 30 M <sup>3</sup> /HA). EN BAS A GAUCHE : EPANDAGE SUR BLE AU PENDILLARD DE DIGESTAT BRUT PHASE LIQUIDE (DOSE DE 30 M <sup>3</sup> /HA). EN BAS A DROITE : EPANDAGE SUR BLE AU PENDILLARD RELEVÉ DE DIGESTAT BRUT PHASE LIQUIDE (DOSE DE 30 M <sup>3</sup> /HA). .....	7
FIGURE 5 : EXEMPLE D'UN PENDILLARD 24 M (2 ESSIEUX) EN CAPACITÉ D'INTERVENIR DANS LES PASSAGES DE TRAITEMENT (HIVER 2025) .....	8
FIGURE 6 : EPANDAGE AVEC AUTOMOTEUR AVEC ENFOUSSEUR A DISQUES. ZOOM SUR LES PIÈCES TRAVAILLANTES (LES DISQUES). (HIVER 2025) .....	9
FIGURE 7 : RAVITAILLEMENT EN BOUT DE CHAMP (EN HAUT) ET PAR UN CAISSON QUI FAIT TAMPON (EN BAS). HIVER 2025 .....	10
FIGURE 8 : EPANDAGE AU PENDILLARD SANS TONNE, A GAUCHE : SYSTÈME DOTÉ D'UN ENROULEUR, A DROITE : SYSTÈME CORDON (HIVER 2025).....	11
FIGURE 9 : LECTURE DU GRAPHIQUE « BOÎTE À MOUSTACHE » .....	11
FIGURE 10 : GRAPHIQUE REPRESENTANT LES VALEURS MOYENNES DE PSL POUR LES 63 SUIVIS RÉALISÉS SUR LE TERRITOIRE DE BREST-PAYS D'IROISE EN 2022 , 2023 ET 2024 .....	12
FIGURE 11 : RESULTATS DES SUIVIS RÉALISÉS SUR LE TERRITOIRE DE RENNES METROPOLE EN 2025 .....	13
FIGURE 12 : COMPARAISON DES TRACES DE ROUES POUR UNE RAMPE À PATINS (GAUCHE), UN ENFOUSSEUR A DISQUES PRAIRIE (CENTRE) ET UN PENDILLARD SANS TONNE (DROITE).....	14
FIGURE 13 : COMPARAISON DES MESURES DE PSL AVEC/SANS PASSAGES DE ROUES .....	15
FIGURE 14 : PRESSION DES PNEUMATIQUES DES EPANDEURS (BARRE ORANGE : LA PRESSION MOYENNE, BARRE VERTE : LA PRESSION DE RÉFÉRENCE).....	15
FIGURE 15 : PASSAGES DE ROUE DU PENDILLARD ET DE L'AUTOMOTEUR AVEC ENFOUSSEUR A DISQUES PRAIRIE. À GAUCHE : VUE À VOL D'OISEAU DES PASSAGES DES DEUX MATÉRIELS. À DROITE HAUT : PENDILLARD. À DROITE BAS : AUTOMOTEUR AVEC ENFOUSSEUR A DISQUES PRAIRIE. (DÉBUT MARS 2025) .....	16

# 1. Summary

The framework method was developed and used as part of the ABAA project to assess more accurately the effectiveness of spreading equipment in reducing volatilisation according to conditions of use. Measurements are taken during monitoring of spreading operations in real conditions, mainly on farms belonging to the pioneer group in the Brest Pays d'Iroise area and the replication group in the Rennes Métropole area. The method consists of determining the proportion of soil covered by liquid effluent after the spreading equipment has passed, using a rating scale and a measuring frame (see figures 1 and 2) placed randomly on the field behind the spreading equipment.



Figure 1: two examples of spreading monitoring frames placed on the ground for scoring purposes

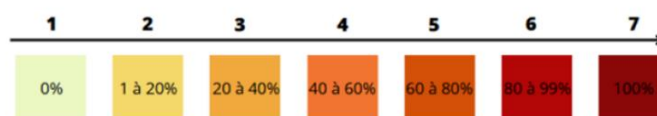


Figure 2: rating scale for assessing the percentage of soil area covered by manure

This method estimates the risk of effluent volatilisation on the basis that the more it is in contact with the air, the greater the volatilisation will be. It does not directly calculate emission factors or abatement factors, but it can contribute to this. There are many factors that influence volatilisation, but the effluent's contact with the air is one of the most important parameters to take into account when calculating the risk of volatilisation. The composite values for the 63 sites monitored are shown in Figure 3. This figure is divided into several parts: on the left are the measurements taken on nozzles and nozzle ramps (yellow), then on trailing hose (dark green), then on trailing shoes (light green), followed by grass disc injectors (light blue), disc cultivator injectors (purple) and finally tine injectors (sky blue).

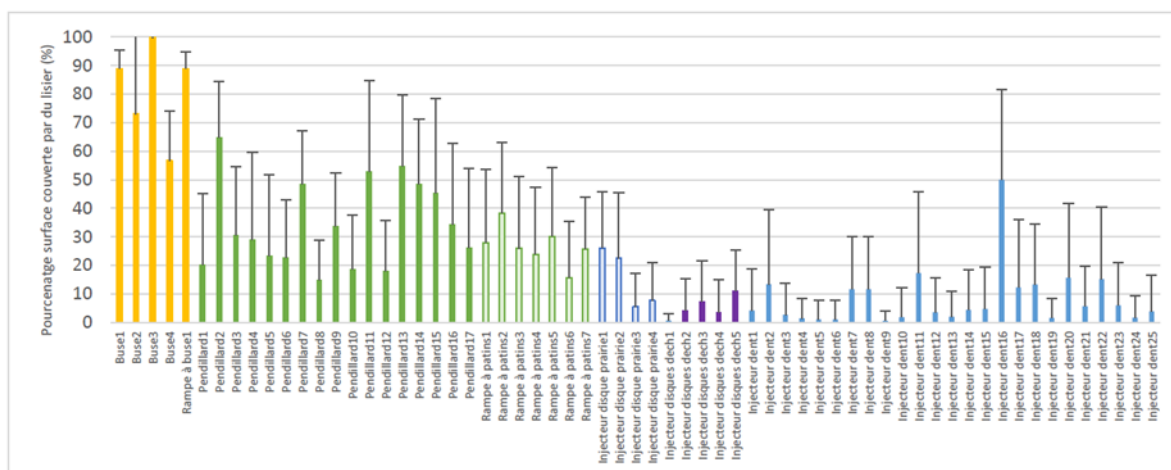


Figure 3: Result of the 63 ratings realized on the pilot territory

The spreading monitorings studied in this report cover a period of three years and enabled the team project to better characterise the impact of spreading practices on the risk of volatilisation. Nozzles are the most emissive, followed by trailing hose, then trailing shoes, then tine injectors and finally disc cultivator injectors, with 75 and 88, 34, 23, 8 and 6 per cent of the soil surface covered by slurry, respectively. Within these results by type of equipment, differences were observed. For example, the average values for the surface area covered by slurry vary from 20 to 65% for spreading monitored with dribble bars. This can be explained by the fact that some projects are carried out with the trailing hoses ramp raised, whereas it is recommended that they be left on the ground. This type of practice creates splashing and leads to higher values of soil covered by manure, and greater volatilisation. This result highlights the importance of providing guidance to those carrying out spreading on the correct use of equipment. The results of these studies have been used to draw up an initial list of technical recommendations to minimise the risk of volatilisation: keep the trailing hose ramp on the ground, carry out soil preparation before spreading if the two operations are carried out in succession, check that the tractor power is appropriate for the spreading equipment used, etc. This method of assessing the effectiveness of spreading equipment has been added to the training provided to agricultural advisers to support farmers in reducing ammonia emissions. Monitoring continues to be carried out to confirm and supplement the initial data collected.

## 2. Contexte

La méthode des cadres a été développée et évaluée dans le cadre du projet ABAA pour caractériser plus finement l'efficacité des outils d'épandage à réduire la volatilisation selon les conditions d'utilisation. Les mesures sont réalisées lors des suivis de chantiers d'épandage en conditions réelles, en majorité chez des agriculteurs du groupe pionnier, sur le territoire de Brest Pays d'Iroise et du groupe de réplication, sur le territoire de Rennes Métropole. La méthode des cadres consiste à déterminer la part de sol recouverte par l'effluent liquide après passage de l'épandeur, grâce à une échelle de notation et un cadre de mesure (Figure 1) posé aléatoirement sur le champ, derrière le passage de l'épandeur. Cette méthode permet d'estimer le risque de volatilisation de l'effluent en se basant sur l'indicateur de la surface de contact en l'effluent et l'air comme indicateur de risque. Elle ne permet pas directement de calculer les facteurs d'émission ou les facteurs d'abattement mais elle peut y contribuer. En effet, il existe de nombreux facteurs qui influencent la volatilisation mais la



surface de contact de l'effluent avec l'air est un des paramètres importants à prendre en compte dans le calcul du risque de volatilisation.

Au cours des suivis, la méthode des cadres permet de quantifier la quantité d'Effluent Organique Liquide (EOL) visible en surface. Comme l'ammoniac est volatilisé essentiellement par des phénomènes d'osmose, l'EOL qui est en contact de l'air perd son  $\text{NH}_4^+$  car il se déplace d'un milieu très concentré (lisier ou digestat) à un milieu peu concentré (air) (Le Cadre, 2004). La méthode des cadres a été développée dans le cadre du projet ABAA et permet donc de savoir, à faible coût et facilement, d'estimer la surface d'EOL visible sur le sol après épandage et donc le risque de volatilisation selon le type et le mode d'utilisation du matériel d'épandage. Les photographies de la Figure 1 montrent des cadres dans différents contextes d'épandage (2025).



Figure 4 : : en haut à gauche : épandage sur blé à l'enfouisseur à disques prairie de digestat brut phase liquide (dose de 30 m³/ha). En haut à droite : épandage sur CIVE (seigle) à l'enfouisseur à disques prairie de digestat brut (dose de 30 m³/ha). En bas à gauche : épandage sur blé au pendillard de digestat brut phase liquide (dose de 30 m³/ha). En bas à droite : épandage sur blé au pendillard relevé de digestat brut phase liquide (dose de 30 m³/ha).

### 3. Typologie des épandages suivis

L'organisation des épandages et le choix de l'outil à utiliser (pendillard, enfouisseur à disques, injecteur à dents, ...) se fait selon plusieurs critères : le calendrier réglementaire, le besoin des cultures, la période de l'année, la taille du parcellaire, la disponibilité du matériel et des chauffeurs de la CUMA, la distance entre la fosse/le méthaniseur et la parcelle, l'émissivité en ammoniac de l'EOL et la demande de l'agriculteur si le choix est fait par un prestataire. L'accompagnement des agriculteurs

pour réduire les pertes d'ammoniac à l'épandage doit donc prendre en compte cet ensemble de critères. Les résultats des suivis avec la méthode des cadres pourront donc permettre de donner des pistes d'amélioration sur les matériels les plus adaptés à chaque contexte et sur leur utilisation.

Soixante-trois suivis d'épandage ont été effectués en 2022, 2023 et 2024 sur le territoire de Brest-Pays d'Iroise puis dix suivis sur le territoire de Rennes Métropole en 2025. Ces suivis ont majoritairement été effectués pour des épandages sur sol nu avant maïs, sur prairies, sur des céréales d'hiver (blé, orge), et sur des cultures intermédiaires à valeur énergétique (CIVE) comme le seigle. Sur le territoire de Brest-Pays d'Iroise, les suivis sont effectués principalement sur des épandages de lisier de bovin et lisier de porc. On compare principalement des épandages à la buse, au pendillard, à l'enfouisseur à disques déchaumeurs et l'enfouisseur à dents. Sur le territoire de Rennes Métropole, le groupe pilote est constitué d'agriculteurs-méthaniseurs et les suivis sont faits sur des épandages de digestat (brut ou liquide). Les épandages se font principalement au pendillard (avec ou sans tonne) ou bien à l'enfouisseur à disques prairie. Les épandages suivis sur le territoire de Brest-Pays d'Iroise font appel à des méthodes bien connues, même si le secteur est plutôt avancé par rapport à d'autres territoires bretons notamment sur l'utilisateur des enfouisseurs à disques déchaumeurs et à dents. En revanche certaines pratiques suivies sur le territoire de Rennes Métropole sont encore peu répandues et sont donc explicitées ci-dessous.

**Zoom sur des pratiques d'épandages sur culture en place (prairie ou céréale) peu répandues : ravitaillement des tonnes en bout de champ, enfouisseur prairie, automoteur, épandage sans tonne.**

Certains chantiers d'épandage ont fait appel à un pendillard associé à une tonne avec une capacité plus petite, à un ou deux essieux, remplie en bout de champ (ce qui est adapté à un parcellaire plus petit et des sols moins portants). Une tonne avec une plus grosse capacité peut également être ravitaillée par citernes ou par un caisson.



Figure 5 : Exemple d'un pendillard 24 m (2 essieux) en capacité d'intervenir dans les passages de traitement (hiver 2025)

Le pendillard permet un épandage régulier et homogène et il est souvent associé à moins de contraintes techniques. Il permet de limiter la volatilisation en déposant le produit directement sur le sol, par contre cette méthode d'épandage ne permet pas l'enfouissement du digestat. L'enfouisseur prairie à disques permet de limiter la volatilisation grâce à des disques qui ouvrent des sillons, qui favorisent l'infiltration du lisier dans le sol, et donc le temps de contact du produit avec l'air.





Figure 6 : *Epandage avec automoteur avec enfouisseur à disques. Zoom sur les pièces travaillantes (les disques). (Hiver 2025)*

Les avantages du matériel présenté dans la figure 8, qui combine l'utilisation d'un automoteur et un enfouisseur prairie à disques, sont notamment la marche en crabe et des pneus larges (1 m) permettant une meilleure répartition du poids. Cette technique fait également gagner un tracteur non mobilisé à l'épandage. Elle est également associée à une moindre émission d'ammoniac quand l'outil est utilisé dans les bonnes conditions. Les inconvénients de cette technique sont le poids et l'investissement qu'elle nécessite. Du fait de sa largeur, on observe aussi des passages plus répétés (tous les 9 m) et un débit de chantier moins rapide qu'au pendillard. Il faut aussi prendre en compte l'usure des pièces travaillantes. Il existe également différentes techniques de ravitaillement, permettant de gagner du temps par rapport au ravitaillement à la ferme : en bout de champ avec une tonne dédiée ou avec un caisson qui fait office de cuve tampon.





Figure 7 : Ravitaillement en bout de champ (en haut) et par un caisson qui fait tampon (en bas).  
Hiver 2025

Le ravitaillement en bout de champ permet un gain en débit de chantier ainsi que de limiter les déplacements sur la route d'ensembles de plus en plus gros. Le ravitaillement par un caisson tampon est plus long à mettre en place, moins polyvalent et nécessite une surface minimale : cette technique est donc plutôt adaptée aux grandes parcelles.

L'épandage avec un épandeur sans tonne peut se faire :

- avec un système doté d'un enrouleur qui dépose le tuyau au fur et à mesure de son avancement.
- avec un système « cordon », un tuyau déroulé en amont qui suit l'ensemble tracteur/rampe auquel il est relié

Le choix d'épandre avec du matériel sans tonne s'explique par :

- des terrains peu portants
- la possibilité d'intervenir plus tôt au printemps
- ne pas vouloir marquer la parcelle en laissant des traces de roues
- ne pas trop tasser la parcelle (diminuer le poids du matériel)

Il faut toutefois prendre en compte quelques contraintes : une logistique de chantier plus lourde (ravitaillement au champ), la mobilisation de plusieurs engins et donc plus de main d'œuvre, l'usure du tuyau, le pompage du digestat, le déroulage, l'enroulage et la vidange du tuyau, la gestion de l'approvisionnement du caisson. Cette méthode nécessite un débit de chantier supérieur ou égal à 15-20 m<sup>3</sup>/ha. En dessous d'environ 12 ha et avec un parcellaire morcelé, le dispositif sans tonne devient donc moins rentable.



Figure 8 : Epandage au pendillard sans tonne, à gauche : système doté d'un enrouleur, à droite : système cordon (hiver 2025)

## 4. Résultats des suivis par la méthode des cadres

### 4.1. Résultats et discussion sur l'ensemble des suivis réalisés

Sur le territoire de **Brest-Pays d'Iroise**, les valeurs composites des 63 chantiers suivis sont présentées dans la figure 10.a. Cette figure est divisée en plusieurs parties : à gauche il y a les suivis réalisés sur des buses et rampe à buses (jaune), puis sur les pendillards (vert foncé), ensuite sur les rampes à patins (vert clair), par la suite sur les injecteurs à disques prairie (bleu clair), les injecteurs à disques déchaumeurs (violet) et enfin sur les injecteurs à dents (bleu ciel). Le graphique 10.b. représente 43 suivis d'épandage au sein des 63 de la figure précédente pour lesquels une analyse statistique des données a pu être réalisée. Pour ces suivis, les résultats sont présentés sous forme de « boîtes à moustaches » permettant de représenter la distribution de l'ensemble des valeurs pour chaque chantier : moyenne, médiane, maximum, minimum, premier et troisième quartile et les points correspondent à des valeurs "hors normes". (Figure 9).

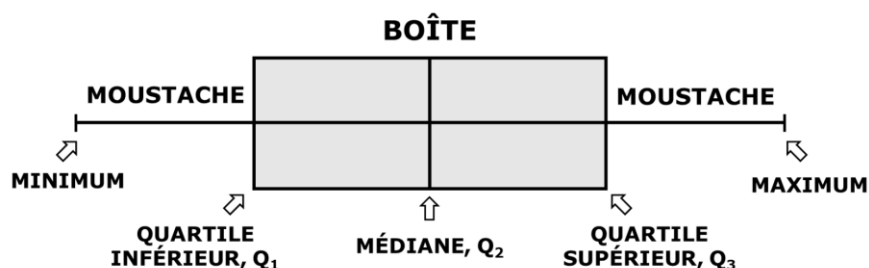
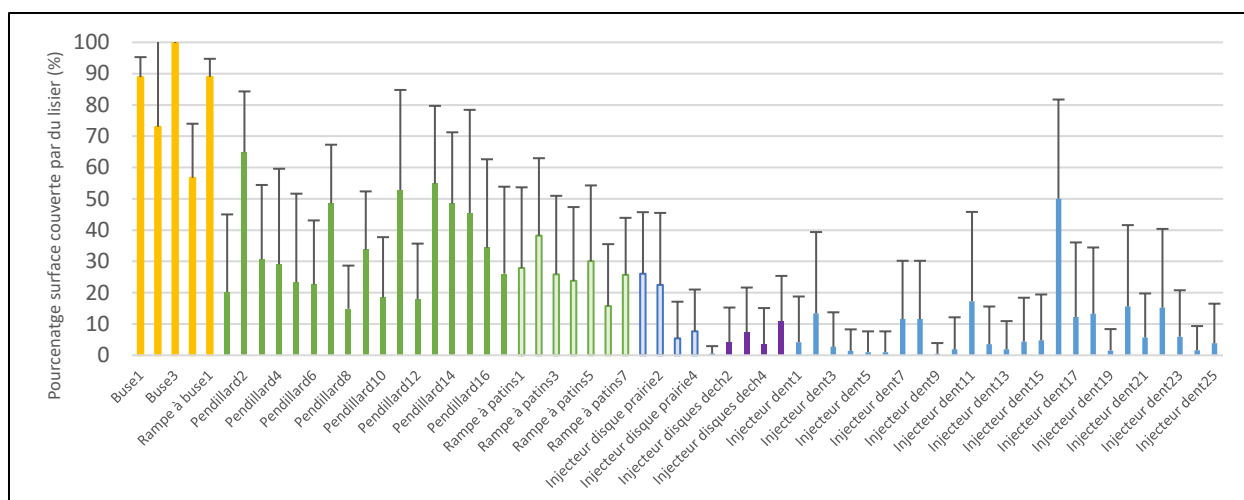


Figure 9 : Lecture du graphique « Boîte à moustache »





*Figure 10 : Graphique représentant les valeurs moyennes de PSL pour les 63 suivis réalisés sur le territoire de Brest-Pays d'Iroise en 2022 , 2023 et 2024*

Les résultats montrent que l'utilisation des buses/rampes à buses présente les plus grandes valeurs (de 56 à 88 % de surface de sol couverte par l'EOL), viennent ensuite les pendillards (de 14 à 64 %) puis les rampes à patins (de 15 à 38%), les injecteurs à disques prairies (de 5 à 26%), les injecteurs à dents (de 0.5 à 17%, avec un chantier à 50%) et les injecteurs à disques déchaumeurs (de 0.5 à 11%). Cette hiérarchie valide le classement des trois grandes catégories de matériels admis dans la bibliographie selon la réduction des émissions d'ammoniac : la buse est le matériel le plus émissif, suivi du pendillard (réduction de 30% des émissions par rapport à la buse, OMINEA 2022) puis des injecteurs (réduction de 70% des émissions par rapport à la buse, OMINEA 2022).

Une analyse statistique réalisée sur 43 des 63 chantiers présentés confirme que le matériel d'épandage a un impact significatif sur la note des chantiers suivis avec la méthode des cadres. Cette analyse montre que les groupes significativement différents entre eux sont, dans l'ordre décroissant, les buses et rampes à buse, les pendillards et les enfouisseurs à dents. Les valeurs des rampes à patins sont proches de celles des pendillards d'une part et des injecteurs à disques prairie et déchaumeurs d'autre part. Les injecteurs à disques prairie et déchaumeurs ont des valeurs proches de la rampe à patins d'une part, et des injecteurs à dent d'autre part. Cette analyse statistique montre également que la dose épandue, le type d'EOL et l'état de surface du sol n'ont pas eu d'impact sur la valeur des cadres sur les 43 chantiers analysés.

On constate par ailleurs au sein d'une même catégorie de matériel une grande variabilité des notes selon les chantiers, notamment pour les buses, les pendillards, les injecteurs à disques prairie et les injecteurs à dents. Ces variabilités peuvent être expliquées par le contexte et le mode d'utilisation des matériel : pendillards frôlant le sol ou pendillards relevés, mauvaise adéquation entre la puissance du tracteur et le besoin de l'injecteur à dent, saturation en eau du sol due à de fortes pluies qui limite l'infiltration du lisier et favorise donc le lisier en surface, mauvaise adéquation entre portance de la parcelle et poids du matériel (notamment observé avec les injecteurs à disque prairie type automoteurs), ...

La figure 11 présente les chantiers suivis sur **Rennes Métropole** et montre de nouveau une grande variabilité sur les résultats des chantiers épandus aux pendillard (de 30 à 95%), et des résultats plus homogènes et plus faibles pour les chantiers épandus avec l'enfouisseur à disques prairie (de 7 à 20%).

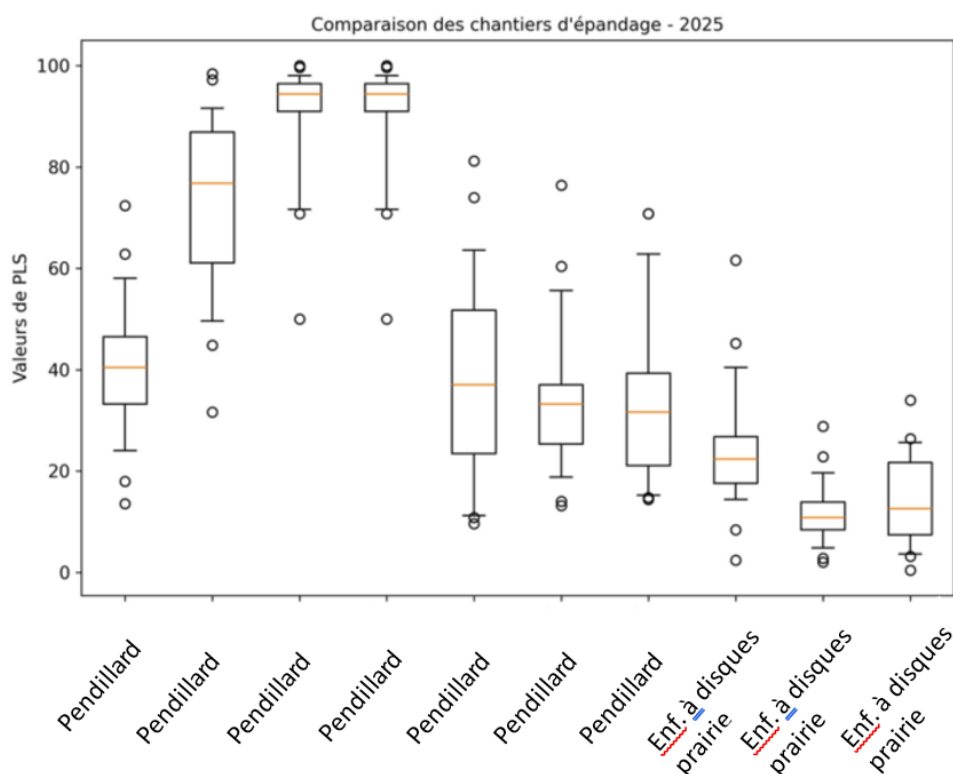


Figure 11 : Résultats des suivis réalisés sur le territoire de Rennes Métropole en 2025

Ces premiers résultats permettent de mettre en avant des premières observations pour mieux accompagner les agriculteurs et chauffeurs de matériels d'épandage à utiliser au mieux les matériels pour réduire le risque de volatilisation à l'épandage. Ce protocole simple a vocation à être intégré aux formations des conseillers agricole pour consolider les résultats obtenus dans le projet ABAA, et pour fournir un outil supplémentaire d'accompagnement des agriculteurs sur la réduction des émissions d'ammoniac. L'absence de corrélation entre les résultats des cadres et la dose apportée, le type d'EOL ou l'état de surface du sol montrent que ce protocole n'est pas adapté pour évaluer tous les facteurs connus qui impactent la volatilisation à l'épandage. En effet, le RMT élevage et environnement indique par exemple que plus une teneur en matière sèche d'EOL est faible, plus le produit va s'infiltrer rapidement dans le sol et faire baisser le risque de volatilisation (Levasseur et al., 2019). Les 5 EOL étudiés présentant différentes teneurs en azote et en matière sèche (MS), on aurait pu s'attendre à une corrélation entre ce facteur et les valeurs observées. Une piste d'amélioration pourrait être un suivi plus étoffé dans le temps, en réalisant des notations au même endroit sur la parcelle mais à plusieurs délais après l'épandage pour évaluer la vitesse d'infiltration de l'EOL dans le sol, soit un indicateur complémentaire du risque de volatilisation.



## 4.2. Discussion sur les conséquences sur le tassement du sol des méthodes d'épandage

Le tassement du sol par le matériel d'épandage pourrait être un autre critère à prendre en compte, permettant de compléter la méthode des cadres. Alors que les masses des machines agricoles ont augmenté depuis les dernières dizaines d'années, le nombre d'essieux a tendance à diminuer sur les nouveaux type des matériels. Un automoteur (masse en charge : 40 t) et un pendillard (masse en charge : 37 t) ont des masses finales assez proches, mais le pendillard a deux fois plus de roues, permettant une meilleure répartition du poids.

Les photos de la figure 12 montrent les empreintes de passage de roue sur des chantiers suivis avec différents matériels d'épandage. Ce paramètre semble également impacter la surface de sol recouverte par l'EOL après l'épandage, en lien avec le tassement du sol après passage de l'outil.



Figure 12 : *Comparaison des traces de roues pour une rampe à patins (gauche), un enfouisseur à disques prairie (centre) et un pendillard sans tonne (droite)*

La figure 13 met en relation les valeurs de cadres (nommées mesures de PSL sur le graphique) sur les passages de roue et en dehors des passages de roue sur une partie des chantiers suivis sur le territoire de Rennes Métropole. On observe que les valeurs sont principalement au-dessus de la droite  $y=x$ , montrant que les passages de roues entraînent des valeurs de cadre plus élevées. Ces résultats permettent de faire l'hypothèse que le tassement du sol dû au passage de la roue empêche la pénétration du l'EOL et entraîne donc un risque de volatilisation d'ammoniac plus grand.

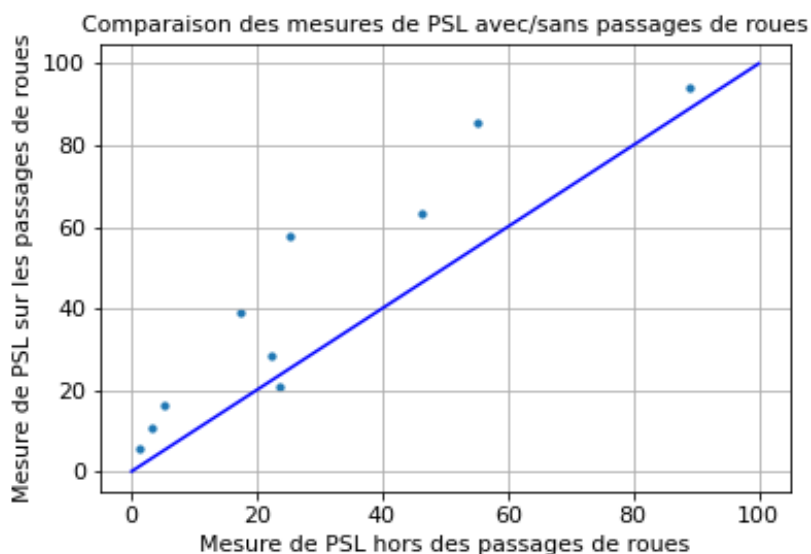


Figure 13 : Comparaison des mesures de PSL avec/sans passages de roues

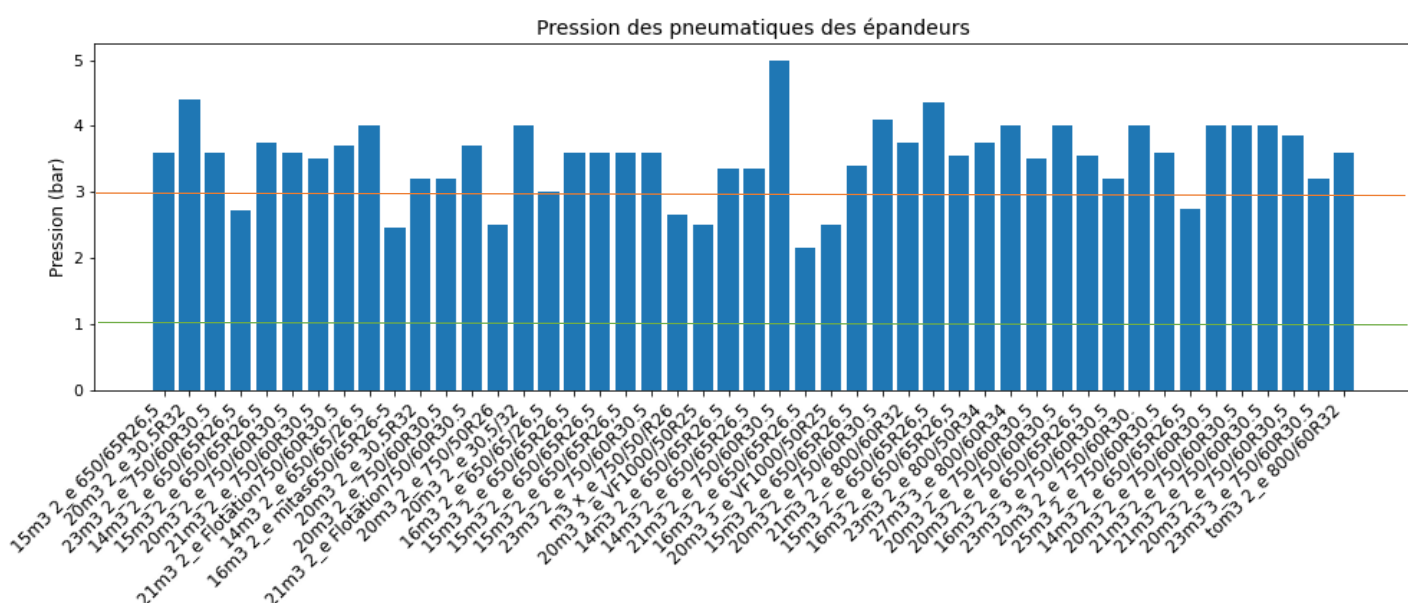


Figure 14 : Pression des pneumatiques des épandeurs (barre orange : la pression moyenne, barre verte : la pression de référence)

La figure 14 montre les mesures de pression des pneumatiques sur 47 de l'ensemble des chantiers suivis. On constate que les pressions moyennes mesurées lors des chantiers d'épandage sont supérieures à la pression de référence lors d'un chantier (environ 1 bar). Cela peut s'expliquer par le besoin de soutenir la charge importante du matériel, cependant des pressions trop élevées contribuent au tassement du sol. Un tassement du sol trop important peut également impacter le rendement des cultures. La figure 15 montre les traces de passage roues sur une culture en place (ici du seigle a vocation CIVE), après le passage d'un ensemble tonne et pendillard et après le passage d'un automoteur avec enfouisseurs à disques prairie sur un essai comparatif.



Figure 15 : passages de roue du pendillard et de l'automoteur avec enfouisseur à disques prairie. A gauche : vue à vol d'oiseau des passages des deux matériels. A droite haut : pendillard. A droite bas : automoteur avec enfouisseur à disques prairie. (début mars 2025)

Les passages de roue du pendillard sont beaucoup plus marqués que ceux de l'automoteur. Cependant, ceux de l'automoteur représentent une surface beaucoup plus importante par rapport à la largeur de travail de l'outil. Par ailleurs, l'essai a mis en évidence des rendements supérieurs de la CIVE avec épandage au pendillard qu'avec l'automoteur - injecteur à disques prairie (malgré des valeurs de cadres plus faible pour l'automoteur avec injecteurs à disques prairie). Au-delà de l'impact du matériel sur le risque de volatilisation, il est donc important de prendre en compte un ensemble de facteurs pour accompagner au mieux les agriculteurs sur l'outil d'épandage le mieux adapté à leur utilisation.

## 5. Conclusion et perspectives

Ce livrable permet de présenter et évaluer l'efficacité de la méthode des cadres développé dans le cadre du projet par la Chambre d'agriculture de Bretagne. Tout d'abord, ce protocole a pu mettre en évidence que le matériel d'épandage a un impact significatif sur l'indicateur du risque de volatilisation ammoniacale choisi – la surface de sol couvert par l'EOL après passage de l'épandeur. Les buses et rampe à buses sont les plus à risque puis viennent les pendillards, par la suite les rampes à patins, après les enfouisseurs à dents et enfin les enfouisseurs à disques déchaumeurs. Une forte



variabilité a été observé au sein de certaines catégories de matériels (buse, pendillard, injecteur à dent), permettant de mettre en avant des conseils d'utilisation du matériel d'épandage pour optimiser son efficacité à réduire la volatilisation. L'utilisation d'un matériel lourd dans un contexte qui n'est pas adapté à ce poids peut entraîner un fort tassement du sol, en particulier au niveau des passages de roues. Ceci peut empêcher la pénétration de l'EOL et favoriser la volatilisation d'une part et impacter négativement le rendement de la culture d'autre part. Des suivis complémentaires seront menés pour compléter les premières observations réalisées dans le cadre du projet ABAA.

## 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](mailto:Lifeabaa2021@airbreizh.asso.fr)

<https://lifeabaa2021.eu>

