



PLATEFORMES EXPERIMENTALES MATERIEL EPANDAGE

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^{er} 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).

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
Version du 20/06/2025		Léna Oddos	Anne Guézengar

Sommaire

1. Summary	5
2. Contexte	5
3. Matériel et méthode	6
4. Résultats et discussion	8
a. Conditions météo le jour de l'épandage.....	8
b. Estimation de la volatilisation par AgrivisionN'air.....	9
c. Mesures tubes Dräger	10
d. Rendements et azote absorbé par les cultures.....	12
5. Conclusion	14

Liste des figures :

FIGURE 1 : PLAN EXPERIMENTAL UTILISE EN MAÏS ET COLZA POUR LES PLATEFORMES 2023 (PEND : PENDILLARDS ; INJ : INJECTEUR A DENTS ; CROIX ROUGES : EXEMPLES DE MESURES DRÄGER). LE PLAN EXPERIMENTAL POUR LA PLATEFORME PRAIRIE EST IDENTIQUE EN REMPLAÇANT LES BANDES EPANDUES A L'INJECTEUR ET LA BUSE PAR LES BANDES EPANDUES AVEC L'ENFOUSSEUR PRAIRIE ET LA RAMPE A PATINS	6
FIGURE 2 : MATERIELS D'EPANDAGE UTILISES SUR LES PLATEFORMES MAÏS (LIGNE 1), COLZA (LIGNE 2) ET PRAIRIE (LIGNE 3). DE GAUCHE A DROITE POUR CHAQUE LIGNE LES MATERIELS D'EPANDAGE SONT : (1) ENFOUSSEUR A DENTS, RAMPE A PENDILLARDS, BUSE PALETTE ; (2) ENFOUSSEUR A DENTS, ETAT DU SOL DE LA MODALITE APRES PASSAGE DU PENDILLARD, BUSE PALETTE ; (3) AUTOMOTEUR AVEC ENFOUSSEUR PRAIRIE, EPANDEUR AVEC RAMPE A PATINS ET RAMPE A PENDILLARDS	7
FIGURE 3 : HAUTEUR DE PLACEMENT DE LA POMPE POUR LES MESURES PAR TUBE DRÄGER.....	10
FIGURE 4 : MESURES DRÄGER DE L'ESSAI MAÏS	10
FIGURE 5 : MESURES DRÄGER DE L'ESSAI COLZA.....	11
FIGURE 6 : MESURES DRÄGER DE L'ESSAI PRAIRIE	12
TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUE DES EPANDAGES SUR LES TROIS PLATEFORMES	7
TABLEAU 2 : METHODE D'ECHANTILLONNAGE POUR CHAQUE CULTURE A LA RECOLTE	8
TABLEAU 3 : CARACTERISTIQUES METEOROLOGIQUES (TEMPERATURE, VENT ET PLUIE) PENDANT ET APRES L'EPANDAGE. LES DONNEES SONT ENREGISTREES SUR DES INTERVALLES DE 5 MINUTES POUR LES ESSAIS COLZA ET PRAIRIE	8
TABLEAU 4 : RESULTATS DE LA SIMULATION AGRIVISION [®] AIR POUR CHAQUE MODALITE D'EPANDAGE SELON LES CONDITIONS METEO DE LA JOURNEE.....	9
TABLEAU 5 : RESULTATS DES ANALYSES DE LA BIOMASSE SECHE ET DE L'AZOTE TOTAL ABSORBE PAR LES CULTURES DES DEUX ESSAIS SELON LA METHODE D'EPANDAGE. PEND : PENDILLARD ; INJ : INJECTEUR A DENTS	12

1. Summary

By reducing nitrogen losses to the air, do low-emission equipment enable an increase in nitrogen content and yield of fertilized crops? Two platforms were set up in 2023 on silage corn and forage rapeseed to answer this question using crop spreading tools listed in the ADEME (French Environment and Energy Management Agency) guide to best practices (2019). To extend the reasoning, a third platform was set up in 2024 on a grass plot to test the impact of spreading tools on grassland: grassland disc injectors and skid bars, compared to dribble tubes.

For crop platforms, drip-line spreaders and tine injectors improved crop performance compared to nozzles. On rapeseed, the tine injector gave better results than the drip-line spreader. On the corn platform, the dribble bar gave better results than the tine injector, which could be related to the fact that it was the only tool used without Electronic Proportional Flow Control (EPFC). The application rate was therefore less precise with the drag hose than with the other two methods, and it is possible that the rate applied to the drag hose strips was higher than the rates applied to the other strips. On the grassland platform, the drag hose and skid spreaders performed equally well on the RGA, while the grassland disc burier performed worse. This can be explained by a combination of several factors:

- The winter of 2023-2024 was particularly rainy, and even though the plot was chosen to avoid overly saturated soil, the soil was still waterlogged.
- Spreading was carried out on fairly developed RGA, which may have damaged the plant and slowed its regrowth after the equipment had passed.
- The spreader was a three-wheeled self-propelled vehicle. As the three wheels do not roll on the same axis and the tool is 8m wide, the passage of the wheels represents a large proportion of the rolled surface and can cause significant surface compaction if the condition of the soil or crop is not optimal.

The choice of spreading equipment must therefore be made taking into account a set of criteria to be both effective in reducing ammonia volatilization and to enable the crop to better utilize the nitrogen retained in the effluent.

2. Contexte

Si les agriculteurs du groupe ABAA étaient convaincus de l'efficacité du matériel d'épandage pour réduire la volatilisation, ils se sont collectivement posé la question de l'impact de l'utilisation de ces matériels sur la performance des cultures fertilisées. En réduisant les pertes d'azote vers l'air, les matériels peu émissifs permettent-ils une augmentation de la teneur azotée et du rendement des cultures fertilisées ?

Deux plateformes ont été mises en place en 2023 sur maïs ensilage et colza fourrager sur les parcelles des agriculteurs du groupe pour répondre à ce questionnement, avec les outils d'épandage sur culture, référencés dans le guide des bonnes pratiques de l'ADEME (2019). Pour prolonger le raisonnement, une troisième plateforme a été mise en place en 2024 sur une parcelle du groupe en herbe pour tester l'impact d'outils d'épandage qui ne sont pas référencés dans le guide : enfouisseur à disques prairie et rampe à patins, par rapport au pendillard.

3. Matériel et méthode

Pour répondre aux questionnements du groupe, majoritairement installé en élevage bovin lait, les cultures choisies sont des cultures fourragères : maïs ensilage, colza fourrager et prairie. La modalité prairie est une modalité Ray Grass Anglais cultivée en dérobée entre deux cultures. Le RGA était donc implanté depuis le mois d'août seulement, il ne s'agissait pas d'une prairie pluriannuelle. Les modalités de matériel étudiées sont l'épandage à la buse, au pendillard et à l'injecteur à dent pour les cultures, et l'épandage au pendillard, à la rampe à patins et à l'enfouisseur prairie pour la prairie. Les plateformes ont été mises en place sous la forme d'essais en bandes, sur les communes de Plouzané (maïs, prairie) et Brélès (colza), avec 3 répétitions par modalité sur une parcelle homogène (Figure 13). Les bandes ont été définies sur 80m de long et 15 à 18m de large selon la largeur du matériel d'épandage. L'essai en maïs a été enfoui le lendemain et l'essai en colza 5 h après l'épandage, avec semis du colza.

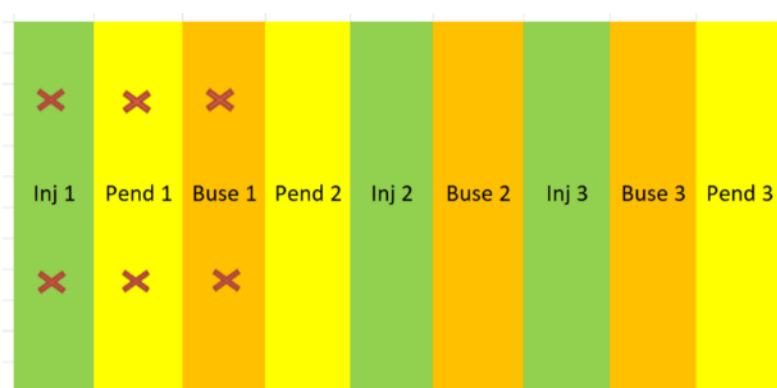


Figure 1 : Plan expérimental utilisé en maïs et colza pour les plateformes 2023 (Pend : pendillards ; Inj : injecteur à dents ; croix rouges : exemples de mesures Dräger). Le plan expérimental pour la plateforme prairie est identique en remplaçant les bandes épandues à l'injecteur et la buse par les bandes épandues avec l'enfouisseur prairie et la rampe à patins



Figure 2 : Matériels d'épandage utilisés sur les plateformes maïs (ligne 1), colza (ligne 2) et prairie (ligne 3). De gauche à droite pour chaque ligne les matériels d'épandage sont : (1) enfouisseur à dents, rampe à pendillards, buse palette ; (2) enfouisseur à dents, état du sol de la modalité après passage du pendillard, buse palette ; (3) automoteur avec enfouisseur prairie, épandeur avec rampe à patins et rampe à pendillards

Le produit épandu, la dose et la date d'apport étaient identiques pour toutes les modalités sur chaque plateforme.

Tableau 1 : Caractéristique des épandages sur les trois plateformes

Essai	Etat du sol	Date épandage	Lisier	N total (g/kg)	N-NH4 (g/kg)	Délai enfouissement
Maïs - Plouzané	Sol nu	21/04/2023	Bovin	1.42	0.86	+ de 24h
Colza - Brélès	Couvert intermédiaire	30/08/2023	Porc	2.71	1.76	4-12h
Prairie - Plouzané	Prairie en place	19/02/2024	Porc	2.51	1.68	/

Des mesures ont été réalisées pour caractériser les produits épandus, estimer la volatilisation le jour de l'épandage, évaluer l'efficacité des matériels d'épandage pour réduire la volatilisation et analyser l'impact sur les rendements et l'azote absorbé par les cultures :

- Reliquats azotés avant épandage et après la récolte : 1 échantillon composite * 3 modalités * 3 bandes
- Concentrations relatives d'ammoniac par tubes Dräger : 2 tubes par modalité sur une même bande (Figure 1), à différents délais après l'épandage.

- Conditions météo de la parcelle sur la durée de l'essai (du début de l'épandage à 3.5-5h après épandage) par intervalle de 5 minutes : température moyenne, vitesse moyenne du vent, rafale, direction du vent, précipitation.
- Proportion de la surface du sol recouverte par du lisier après passage de l'épandeur (méthode des cadres ABAA) : 10 cadres * 3 répétitions * 3 modalités
- Biomasse sèche et teneur azotée totale de la plante à la récolte : 1 échantillon composite * 3 modalités * 3 bandes. Le Tableau 2 donne la méthode de récolte des échantillons unitaire pour chaque essai.

Tableau 2 : Méthode d'échantillonnage pour chaque culture à la récolte

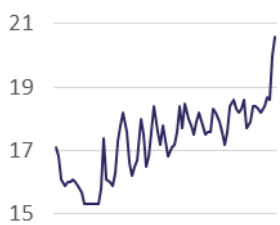
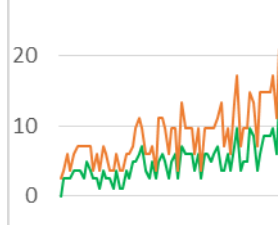
Essai	Nombre d'échantillons unitaires	Taille de l'échantillon unitaire
Maïs - Plouzané	4 * 3 blocs * 3 modalités	5 m linéaire
Colza - Brélès	5 * 3 blocs * 3 modalités	0.2 m ²
Prairie - Plouzané	10 * 3 blocs * 3 modalités	0.2 m ²

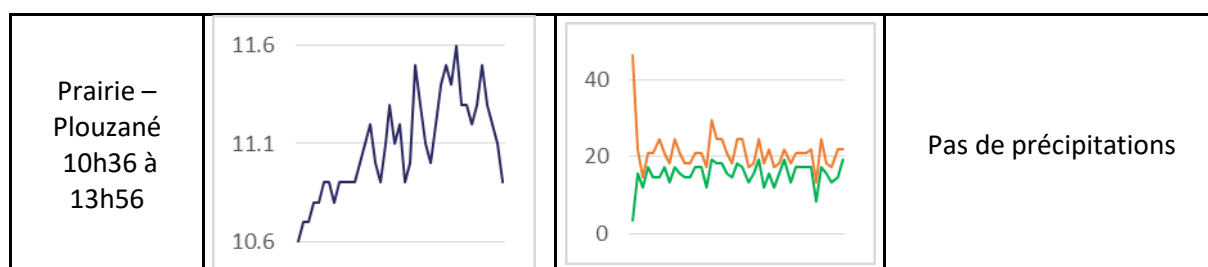
4. Résultats et discussion

a. Conditions météo le jour de l'épandage

Les conditions météo sur la durée des épandages et sur les heures suivantes, récupérées grâce à une station météo mise sur la parcelle sont affichées dans le Tableau 5. Les données météo de l'essai maïs ne sont pas récupérables et sont donc remplacées par des moyennes journalières.

Tableau 3 : Caractéristiques météorologiques (température, vent et pluie) pendant et après l'épandage. Les données sont enregistrées sur des intervalles de 5 minutes pour les essais colza et prairie

Essai	Température (°C)	Vitesse du vent (km/h) – vert : moyenne ; orange : rafales	Précipitations (mm)
Maïs - Plouzané	Température moyenne de la journée : 9.3 °C	Vitesse du vent moyenne de la journée : 12 km/h	Cumul des pluies de la journée : 0.7 mm
Colza – Brélès, 09h50 à 16h20			



Les températures plutôt douces en avril et chaudes en août sur les épandages de maïs et colza entraînent des conditions volatilisantes plus importantes que pour l'épandage sur prairie en février. L'indice de volatilisation produit dans l'outil AgrivisionN'air donne pour les deux premières journées un indice « volatilisation moyenne », soit la 3^e classe la plus forte sur 4 et pour la troisième journée un indice « volatilisation faible », soit la 2^e classe sur 4. (Tableau 4).

b. Estimation de la volatilisation par AgrivisionN'air

Tableau 4 : Résultats de la simulation AgrivisionN'air pour chaque modalité d'épandage selon les conditions météo de la journée

Essai	Matériel + délai enfouissement	Azote volatilisé en kgN-N3/ha (et en % du N _{tot} apporté)	Indicateur matériel	Indicateur météo
Maïs – Plouzané	Injecteur dents	7 (10%)		
	<u>Pendillard</u>	22 (31%)		
	Buse palette	31 (44%)		
Colza – <u>Brélès</u>	Injecteur dents	8 (6%)		
	<u>Pendillard</u> + 4-12h	13 (9%)		
	Buse palette + 4-12h	18 (13%)		
Prairie – Plouzané	Tous	16 (16%)		

c. Mesures tubes Dräger

Les mesures par tubes Dräger ont été réalisées à différents délais après l'épandage afin de comparer la mesure d'ammoniac entre des modalités et son évolution dans le temps. Les délais entre les mesures et l'épandage sont donnés sur les figures 4, 5 et 6 pour chaque essai. Les mesures ont toutes été faites à environ 50cm du sol, soit en prenant la hauteur du genou comme repère (Figure 3).



Figure 3 : Hauteur de placement de la pompe pour les mesures par tube Dräger

Pour l'essai maïs, deux bandes épandues au pendillard ont été mesurées, une bande en « début de série » par rapport au sens du vent, donc sans contamination possible de la mesure par une autre modalité, mais avec possibilité de dispersion de l'ammoniac volatilisé par le vent. Une deuxième bande « proche buse » où la modalité épandue à la buse a pu contaminer la mesure de la modalité pendillard a aussi été mesurée (Figure 4).

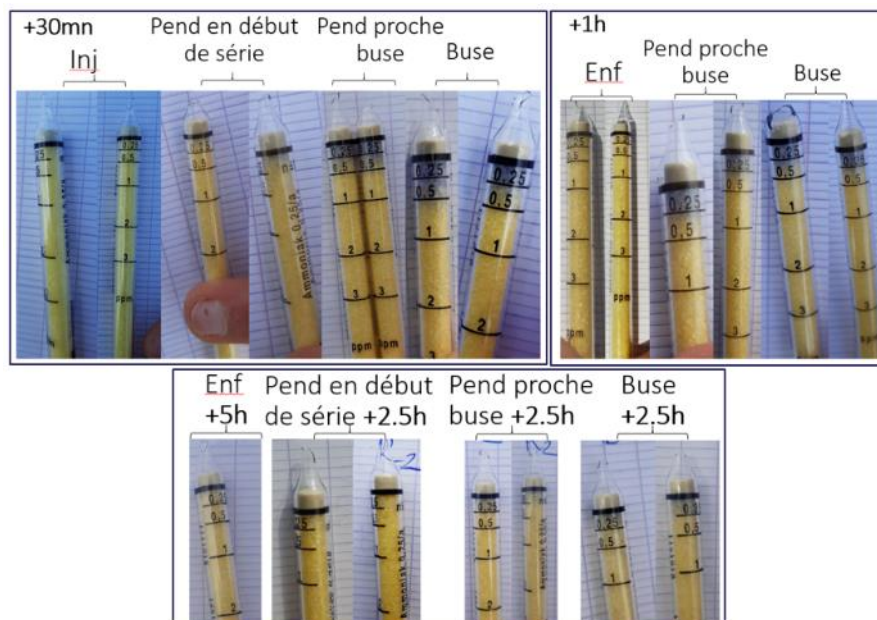


Figure 4 : Mesures Dräger de l'essai maïs

Des différences sont visibles dès la mesure à 30mn après l'épandage. Les tubes de la modalité injecteur ne sont pas colorés, les tubes du pendillard début de série affichent une coloration très faible en dessous des 0.25 ppm et les deux autres mesures affichent une coloration d'une intensité équivalente

qui dépasse légèrement les 0.25 ppm. A 1h, l'intensité des colorations des deux modalités colorées faiblit mais restent au même niveau. A 2h30, la coloration se distingue et passe en-dessous des 0.25 ppm mais elle n'est presque plus visible. Les tubes des deux premières modalités les moins marquées restent incolores. Ces résultats s'expliquent par teneur en azote ammoniacal du lisier assez faible, l'ammoniac gazeux qui a pu être émis n'est pas détectable avec les tubes Dräger pour les modalités où le matériel d'épandage permet de réduire la volatilisation par rapport à la buse. La modalité buse en revanche ne permet pas de réduire suffisamment la volatilisation pour passer sous le seuil de détection des tubes Dräger. Ce n'est que la dispersion de l'ammoniac après l'épandage qui permet de réduire la valeur mesurée.

Pour l'essai colza, les trois modalités ont été mesurées à quatre délais après l'épandage de 30 minutes à 5h30. L'évolution des mesures est visible sur la Figure 5.

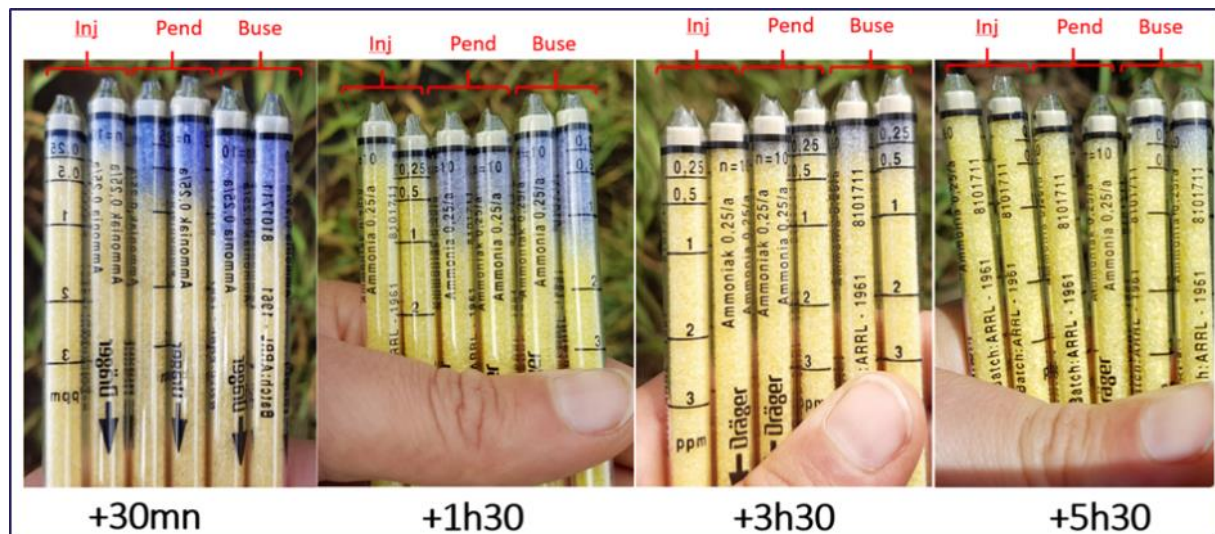


Figure 5 : Mesures Dräger de l'essai colza

Les colorations à 30mn après épandage ont toutes une couleur intense, et s'échelonnent dans l'ordre croissant avec injecteur pour la mesure la plus faible (env 0.25 ppm), puis pendillard (env 0.75 ppm), puis buse (env 1 à 1.5 ppm). Les valeurs restent à peu près identiques pour la mesure à 1h30 mais la couleur a une intensité beaucoup plus faible, ce qui rend la mesure de l'injecteur presque invisible. A 3h30 après l'épandage, la mesure de l'injecteur n'est plus visible, celle du pendillard a une coloration très faible et n'atteint pas les 0.25 ppm et celle de la buse est descendue entre 0.25 et 0.5 ppm. Enfin, à 5h30 après l'épandage seule la modalité buse présente une coloration visible, mais très peu intense et qui descend à 0.25 pp à son tour. Les résultats sont cohérents avec la réduction attendue de la volatilisation de l'ammoniac par l'enfouisseur à dent d'abord, et dans une moindre mesure par le pendillard. La teneur azotée du lisier de porc plus élevée que celle du lisier de bovin explique les niveaux mesurés plus élevés que pour l'essai maïs.

Pour l'essai prairie, les trois modalités ont été mesurées à deux délais après l'épandage à 30 minutes à 1h45 (Figure 6). La coloration observée aux deux mesures était peu intense n'a pas évolué entre les deux délais. A 30mn, les mesures de l'enfouisseur prairie (Enf prairie) dépassaient légèrement les 0.25 ppm, celles de la rampe à patins (Patin) étaient de 0.25 ppm ou un peu inférieures. Les deux mesures sur pendillard (Pend) sont différentes avec une mesure à 0.25 ppm et une qui dépasse les 0.5 ppm. A 1h45, toutes les mesures sont autour de 0.25 ppm, celles de la rampe à patins étant un peu inférieures et celles du pendillard un peu supérieures.

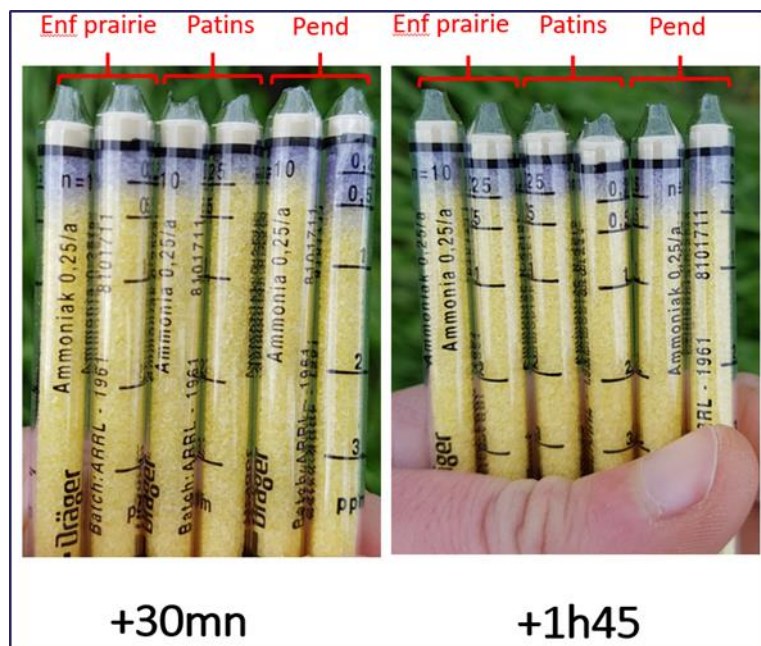
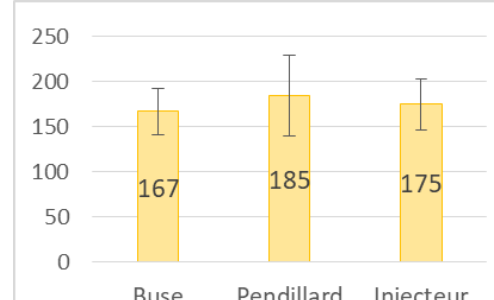


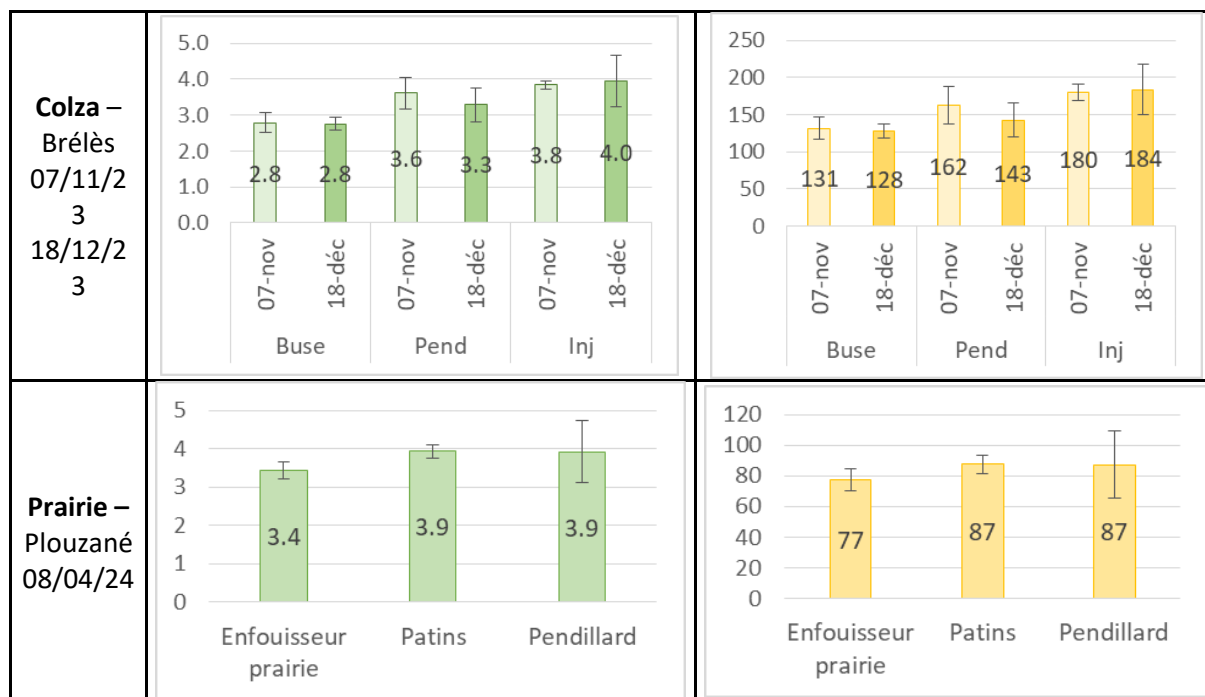
Figure 6 : Mesures Dräger de l'essai prairie

d. Rendements et azote absorbé par les cultures

Les résultats des analyses de la biomasse produite et de l'azote absorbé par les cultures selon les modalités d'épandage sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Résultats des analyses de la biomasse sèche et de l'azote total absorbé par les cultures des deux essais selon la méthode d'épandage. Pend : pendillard ; Inj : injecteur à dents

Essai	Biomasse sèche (t/ha)	Azote absorbé (kg/ha)																
Maïs – Plouzané 07/09/2013	 <table><thead><tr><th>Méthode</th><th>Biomasse sèche (t/ha)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Buse</td><td>15.9</td></tr><tr><td>Pendillard</td><td>17.3</td></tr><tr><td>Injecteur</td><td>16.6</td></tr></tbody></table>	Méthode	Biomasse sèche (t/ha)	Buse	15.9	Pendillard	17.3	Injecteur	16.6	 <table><thead><tr><th>Méthode</th><th>Azote absorbé (kg/ha)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Buse</td><td>167</td></tr><tr><td>Pendillard</td><td>185</td></tr><tr><td>Injecteur</td><td>175</td></tr></tbody></table>	Méthode	Azote absorbé (kg/ha)	Buse	167	Pendillard	185	Injecteur	175
	Méthode	Biomasse sèche (t/ha)																
Buse	15.9																	
Pendillard	17.3																	
Injecteur	16.6																	
Méthode	Azote absorbé (kg/ha)																	
Buse	167																	
Pendillard	185																	
Injecteur	175																	



Pour la plateforme maïs ensilage, la modalité pendillard présente 1.4 tMS/ha et 18 kgN/ha de plus que la modalité buse et la modalité injecteur 0.7 tMS/ha et 8 kgN/ha de plus au 7 septembre avant l'ensilage. Pour la plateforme colza fourrager, à la première récolte le 7 novembre la modalité pendillard présente 0.8 tMS/ha et 31 kgN/ha de plus que la modalité buse et la modalité injecteur 1 tMS/ha et 49 kgN/ha de plus. A la deuxième récolte le 12 décembre, la modalité pendillard présente 0.5 tMS/ha et 15 kgN/ha de plus que la modalité buse et la modalité injecteur 1.2 tMS/ha et 56 kgN/ha de plus. Pour la plateforme prairie, les modalités pendillards et patins présentent les mêmes résultats avec 3.9 tMS/ha et 87 kgN/ha, et la modalité enfouisseurs prairie présente 0.5 tMS/ha et 10 kgN/ha de moins que les deux autres modalités.

Pour les plateformes sur culture, les épandeurs pendillard et injecteur à dent ont permis d'améliorer la performance des cultures par rapport à la buse. Sur colza, l'injecteur à dent a donné de meilleurs résultats que le pendillard. Sur la plateforme maïs c'est la modalité pendillard qui donne de meilleurs résultats que l'injecteur à dent, ce qui pourrait être lié au fait que l'outil était le seul utilisé sans Débit Proportionnel à l'Avancement Electronique (DPAE). Le réglage de la dose apportée était donc moins précis avec le pendillard que sur les deux autres modalités, il est possible que la dose apportée sur les bandes au pendillard était supérieure aux doses des autres bandes. Pour la plateforme sur prairie, les épandeurs pendillards et patins donnent les mêmes performances sur le RGA, tandis que l'enfouisseur à disques prairie les a dégradées. Cela peut être expliqué par une concordance entre plusieurs facteurs :

- L'hiver 2023-2024 étant particulièrement pluvieux, même si la parcelle a été choisie pour éviter les sols trop saturés, l'état du sol était tout de même chargé en eau.
- L'épandage a été réalisé sur un RGA assez développé, ce qui a pu abimer la plante et freiner sa reprise de croissance après le passage du matériel.
- L'épandeur était un automoteur trois roues. Comme les trois roues ne roulent pas sur le même axe, et que l'outil fait 8m de large, le passage des roues représente une grande proportion de la surface roulée et peut être à l'origine de tassements superficiels importants si l'état du sol ou de la culture ne sont pas optimaux.

5. Conclusion

Les plateformes d'épandage mises en place ont permis de répondre au questionnement des agriculteurs du groupe : l'utilisation de matériel d'épandage peu émissif peut permettre d'améliorer la valorisation de l'azote qui n'est pas volatilisé par la plante, et donc d'obtenir de meilleures performances (rendement, azote absorbé). En revanche, d'autres critères entrent en jeu et peuvent pénaliser la performance de la culture en utilisant du matériel d'épandage peu émissif : état hydrique du sol, poids du matériel, état de la culture... Le choix du matériel d'épandage doit donc se faire en prenant en compte un ensemble de critères pour être à la fois efficace pour réduire la volatilisation de l'ammoniac, et à la fois pour permettre à la culture de mieux valoriser l'azote conservé dans l'effluent.

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>

