

Acidifier des effluents liquides à l'épandage pour réduire les pertes d'azote par volatilisation

Evaluation des effets agronomiques et environnementaux

Mariana MOREIRA, Daniel HANOCQ, Pierre GAUTIER, Anne-Sophie LANGLOIS
Chambre d'Agriculture de Bretagne, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France
mariana.moreira@bretagne.chambagri.fr

Acidifying slurry and digestate at spreading to reduce ammonia emissions: assessment of agronomic and environmental effects

Acidification is a technique that, by reducing nitrogen losses through volatilisation, can help improve air quality. Three trials were set up to demonstrate agronomic benefits and environmental effects of this technique under French soil and climate conditions. The spreading of pig slurry and digestate with or without the addition of acid was monitored in 2023 in Brittany. The ammonia concentration of the air, the nitrogen fertiliser replacement value (NFRV) of the organic materials and the soil pH and sulphur content were measured or calculated. The results confirm a reduction in nitrogen losses of more than 80% through acidification, which increased the NFRV of the digestate by 23%. A decrease in soil pH after spreading the acidified product was not confirmed, which suggests no need for additional liming. The increase in soil sulphur content needs to be carefully monitored, however, as sulphur can leach into groundwater. A second year of trials will complete this study.

INTRODUCTION

L'ammoniac (NH_3) émis dans l'air lors des épandages d'effluents et d'engrais minéraux contribue à la diminution de leur valeur fertilisante et à la dégradation de la qualité de l'air. L'ajout d'un acide fort aux effluents liquides permet d'abaisser leur pH et ainsi réduire les pertes d'azote (N) par volatilisation. Des dispositifs d'acidification peuvent être installés sur les tracteurs, permettant un mélange avec l'effluent juste avant l'épandage. Le système commercialisé utilise de l'acide sulfurique à 96 %. Des réductions des émissions d' NH_3 pouvant aller jusqu'à 90% pour un épandage d'effluent acidifié et incorporé au sol dans les 4 heures comparé à un épandage d'effluent brut en surface sont décrites par Wagner *et al.*, 2015. Néanmoins, la quantification de l'effet de cette pratique sur l'ensemble des flux d'N à l'échelle de la parcelle est moins documentée. Elle est pourtant nécessaire pour estimer les économies possibles en engrais azotés de synthèse.

Les effets décrits sur le pH sont variables et souvent mesurés dans des sols calcaires (Baltic Slurry Acidification, 2019). Le suivi d'un sol neutre à acide, pour lesquels une diminution du pH se traduit par des besoins en chaulage supplémentaires, s'avère pourtant nécessaire. Une augmentation de la teneur en soufre du sol suite à l'épandage d'effluents acidifiés est observée, ces teneurs pouvant dépasser les besoins des cultures et être à risque de lixiviation vers les eaux (Loide *et al.*, 2019).

L'objectif de cette étude est de quantifier les effets agronomiques et environnementaux de cette technique d'acidification des effluents liquides au champ pour contribuer à l'évaluation de son intérêt par rapport à un épandage au pendillard classique de l'effluent brut.

1. MATERIEL ET METHODES

Trois dispositifs expérimentaux ont été mis en place en Bretagne en 2023 : deux avec du digestat de méthanisation et un avec du lisier de porc mixte épandus à 25 m³/ha avant implantation d'un maïs (Tableau 1). Les produits ont été acidifiés par l'ajout de 9 et 12 litres d'acide sulfurique (30-38% m/v) par m³ de digestat et de lisier de porc, respectivement.

Tableau 1 – Caractéristiques des produits.

Produit	Digestat		Lisier	
	brut	acidifié	brut	acidifié
Mod. d'épandage				
MS, %	5,37	5,56	1,67	2,00
pH	8,13	7,79	8,00	6,76
N total, g/kg	6,08	6,08	1,65	1,62
N-NH ₄ ¹ , g/kg	4,42	4,41	1,12	1,14

¹ N-NH₄ : azote ammoniacal

Différentes modalités d'épandage en surface ont été testées : produit brut avec incorporation au sol après 12h (PB12), produit acidifié avec incorporation au sol après 12h (PA12) et produit brut avec incorporation au sol après 1 h (PB01). Cette dernière modalité n'a pas pu être testée dans le dispositif avec du lisier.

1.1. Le suivi des pertes d'N par volatilisation

L'évolution des concentrations en NH_3 de l'air a été suivie sur 20 jours à partir d'un réseau de capteurs passifs ALPHA (*Adapted Low-Cost Passive Absorption*), installé le jour des épandages des effluents sur 2 dispositifs en bandes d'une surface de 1500 à

2000 m², sans répétitions. Les flux d'NH₃ émis dans l'atmosphère ont été calculés à partir d'un modèle de dispersion atmosphérique (FIDES), en utilisant les mesures de concentrations des capteurs ALPHA et les conditions météorologiques (température de l'air, pluviométrie, vitesse et direction du vent, rayonnement global et humidité de l'air).

1.2. Le suivi des cultures et des paramètres du sol

Les flux d'N liés à la culture et au sol ont été quantifiés dans un dispositif du type courbe de réponse à l'N (Réseau PRO, 2015). Ce dispositif en micro-parcelles de 54 m² et avec 3 répétitions, comptait un témoin non fertilisé (ON), 5 modalités fertilisées avec des doses croissantes d'engrais minéral (Min1 à Min5) et les modalités fertilisées avec du digestat (brut ou acide). A la récolte, des pesées en frais et en sec ont permis de calculer le rendement du maïs. L'N absorbé a été analysé en laboratoire. Des analyses de reliquats d'N du sol ont aussi été réalisées. Ce type de dispositif permet d'estimer la quantité d'N mis à disposition de la culture réceptrice par le calcul du coefficient d'équivalence N (Keq N) : quantité d'N d'un engrais minéral ayant le même effet sur l'alimentation azotée de la culture qu'1 kg d'N apporté par le produit organique. Un suivi du pH en eau et du soufre soluble du sol a été fait à 3 périodes : avant épandage (t0), à la récolte (t1) et 10 mois après l'épandage (t2).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Effet sur les pertes d'N par volatilisation

L'acidification (PA12), par rapport à un épandage au pendillard avec une incorporation tardive (PB12), a permis de réduire les pertes d'N par volatilisation de 12 kg/ha à 1 kg/ha pour le lisier et de 35 kg/ha à 6 kg/ha pour le digestat. La différence est minime comparée au digestat brut incorporé rapidement au sol (PB01, 9 kg/ha), technique qui permet d'éviter l'exposition à la température et au vent du produit. A noter que la dose d'apport n'a pas pu être vérifiée à l'épandage, ce qui peut conduire à une variabilité dans les calculs effectués.

2.2. Effet sur l'équivalent engrais azoté (Keq N) des produits

La courbe de réponse de l'N absorbé en fonction de l'N disponible (reliquat d'N du sol + fournitures d'N du sol + N minéral apporté) (Figure 1) met en évidence un effet dépressif des modalités avec les doses d'engrais minéral plus élevées (Min4 et Min5) qui peut être expliqué par une minéralisation de l'N très forte pour cette parcelle et des reliquats d'N en sortie d'hiver élevés. Les Keq N sont de 48%, 41% et 39% pour les modalités PA12, PB01 et PB12, respectivement. Ce gain équivalent grâce à l'acidification est proportionnel à la

réduction des pertes d'N par volatilisation.

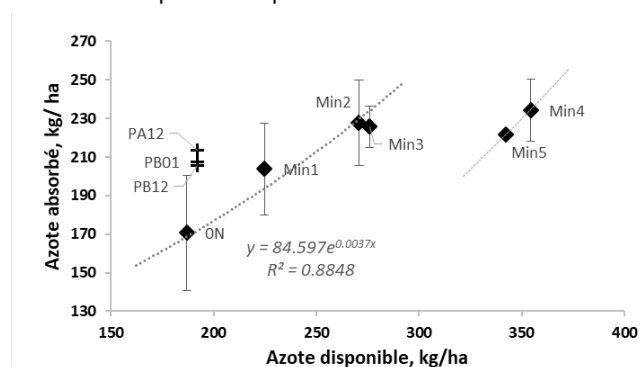


Figure 1 – Courbe de réponse de l'azote absorbé.

Traitements : doses croissantes d'engrais minéral (ON, Min1, Min2, Min3, Min4 et Min5), PA12 – digestat acidifié incorporé 12h après l'épandage, PB12 – digestat brut incorporé 12h après l'épandage, PB01 – digestat acidifié incorporé 1h après l'épandage.

2.3. Effet sur le statut acido-basique et le soufre du sol

Une évolution négative du pH moyen du sol de 0,20 unités a été mesurée à la récolte (t1) dans les modalités PA12. Cependant, cette valeur n'a pas été significativement différente de celle mesurée dans la modalité PB12 (-0,05 unités). Dix mois après l'épandage, l'évolution du pH du sol était de 0,01 unités pour PA12, ce qui laisse supposer que l'ajout d'acide n'induirait pas un besoin supplémentaire important en chaulage pour cette parcelle. A la récolte, le soufre soluble dans le sol de la modalité PA12 (19,2 mg/kg) était significativement supérieur à celui de la modalité PB12 (11,2 mg/kg). Le fait que, dix mois après l'épandage, les teneurs en soufre du sol ne soient pas significativement différentes entre modalités laisse supposer que cet élément a pu être perdu par lixiviation lors de la période de drainage ou organisé par la croissance microbienne.

CONCLUSION

Sur ces dispositifs, l'acidification a permis de réduire les pertes d'N par volatilisation de 92 % pour le lisier et de 80 % pour le digestat avec une amélioration de l'équivalence engrais de 23 % pour le digestat. Même si 10 mois après l'épandage il n'y a pas eu d'effet significatif sur le pH du sol, nous ne pouvons pas conclure sur l'effet d'un apport répété d'effluent acidifié sur le sol. Les résultats d'une deuxième année d'essais viendront compléter cette étude.

REMERCIEMENT

Avec le financement du Conseil Régional de Bretagne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baltic Slurry Acidification, 2019. Methodology, results collection and partners practical experiences 2016-2018. Kučinskienė G., Titiškytė L., Lundin G. *et al.*, Coord., Interreg Baltic Sea Region Eds, Bruxelles, Belgique, 206 p.
- Loide V., Saue T., Võsa T., Tamm K., 2019. The effect of acidified slurry on crop uptake and leaching of nutrients from a loamy topsoil. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 70, 31-38.
- Réseau PRO, 2015. Guide méthodologique pour la mise en place d'un essai au champ pour l'évaluation agronomique, environnementale et sanitaire d'un Produit Résiduaire Organique. Bell A., Balloy B., Bodet C. *et al.*, Coord., ADEME Eds, Paris, 282 p.
- Wagner C., Hafner S., Nyord T., Pacholski A., 2015. Impact of field acidification and application methods on ammonia emissions, yield and nitrogen efficiency of organic liquid manures. RAMIRAN 16th edition, Hamburg, Germany.



AGRONOMIE



Projet
ELDA
Volet 1



ACIDIFIER LES EFFLUENTS LIQUIDES A L'EPANDAGE POUR REDUIRE LES PERTES D'AZOTE PAR VOLATILISATION - effets agronomiques et environnementaux

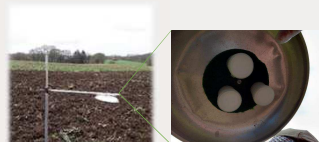
Mariana Moreira, Daniel Hanocq, Pierre Gautier, Anne-Sophie Langlois - Chambre d'agriculture de Bretagne

Acidification à l'épandage

- Dispositif utilisant de l'acide sulfurique à 96% pouvant être installé sur les tracteurs
- Permet de réduire les pertes d'azote par volatilisation grâce à une diminution du pH des effluents liquides
- Peut être une alternative à l'investissement dans des matériels moins émissifs
- Manque de références en contexte breton :
 - Impact sur l'ensemble des flux d'azote ?
 - Impacts sur la qualité agronomique de la parcelle ?



Epandages dans les microparcelles



Dispositif de mesure de la concentration d'ammoniac dans l'air
INRAE Transfert METYS



Epandages dans les bandes

Trois dispositifs expérimentaux

- Deux dispositifs en bandes à la station expérimentale de Kerguéhennec (digestat de méthanisation) et à la station de Crécom (lisier de porc)
- Un dispositif en micro-parcelles (54 m²) avec 3 répétitions à la station expérimentale de Kerguéhennec (digestat de méthanisation)
- Epandage de 25m³/ha avant maïs en 2023
- Différentes modalités d'épandage :
 - produit acidifié avec incorporation au sol après 12h (PA-12)
 - produit brut avec incorporation au sol après 1 h (PB-01)
 - produit brut avec incorporation au sol après 12h (PB-12)

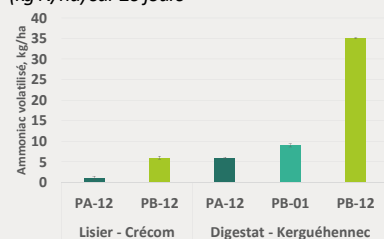
Tableau 1 - Caractéristiques des produits testés

Produit	Digestat		Lisier	
	Brut	Acidifié 9 l/m ³ d'H ₂ SO ₄ 33-38%	Brut	Acidifié 12 l/m ³ d'H ₂ SO ₄ 33-38%
MS, %	5,37	5,56	1,67	2,00
pH	8,13	7,79	8,00	6,76
N total, g/kg	6,08	6,08	1,65	1,62
N-NH ₄ , g/kg	4,42	4,41	1,12	1,14

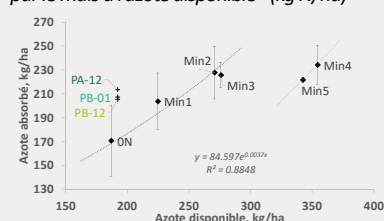
- Paramètres suivis :
 - dispositifs en bandes : concentration en ammoniac dans l'air (capteurs passifs ALPHA) et paramètres météo
 - dispositif en micro-parcelles : biomasse et azote absorbé par le maïs, reliquats d'azote, pH eau et soufre soluble du sol

Résultats

Graphique 1 : Cumul d'ammoniac volatilisé (kg N/ha) sur 20 jours

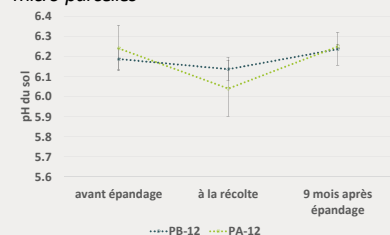


Graphique 2 : Courbe de réponse de l'azote absorbé par le maïs à l'azote disponible* (kg N/ha)



*Azote disponible = reliquat d'N du sol + fournitures d'N du sol + N minéral apporté

Graphique 3 : Evolution du pH du sol dans l'essai micro-parcelles



- Les jour de l'épandage, les conditions de volatilisation étaient fortes à Crécom et moyennes à Kerguéhennec - Agrivision[®]Air
- L'acidification (PA-12), a permis de réduire les pertes d'N par volatilisation de 83 % pour le lisier et de 81 % pour le digestat, par rapport à un épandage du produit avec une incorporation tardive au sol (PB-12)
- L'écart s'est réduit à 29% quand le digestat a été rapidement incorporé au sol (PB-01)

- Effet dépressif des modalités avec les doses d'engrais plus élevées : Min-4 (134 uN) et Min-5 (167,5 uN)
- Equivalence engrais - Keq N** - calculée sur la courbe de réponse de ON, Min1, Min2 et Min3 (apports d'engrais minéral : 0 ; 33,5 ; 67 et 100,5 uN)
- Valeurs de Keq N moyennes :
PA-12 : 52% > PB-01 : 43% > PB-12 : 40%
→ économie d'engrais ?

**Keq N : quantité d'N d'un engrais minéral ayant le même effet sur l'alimentation azotée de la culture qu'1 kg d'N apporté par le produit organique.

- A la récolte, le pH du sol s'est réduit de 0.2 unités dans la modalité ayant reçu du digestat acidifié (PA-12)
→ chaulage supplémentaire à prévoir ?
- Cette réduction du pH a été rattrapée au printemps suivant
- A la récolte, le soufre soluble du sol dans le sol de la modalité PA-12 (19,2 mg/kg) était significativement supérieur à celui de la modalité PB-12 (11,2 mg/kg)
→ risque de pertes par lixiviation ?

Conclusion

- Effet positif de l'acidification du lisier de porc et du digestat de méthanisation sur la réduction des pertes d'azote par volatilisation vérifiées
- Amélioration de 23 % de l'équivalence engrais du digestat grâce à l'acidification
- Pas encore assez de données pour conclure sur l'effet sur le sol
- Prolongements envisageables :
 - nouvelle année d'essai pour consolider les résultats
 - suivi de l'effet sur la biologie du sol

Pour compléter sur le volet acidification:
POSTER N° 9, session environnement



Langlois et al., JRP 2025



Service Agronomie – équipe gestion des sols et fertilisation
Chambre d'agriculture de Bretagne
Mariana MOREIRA, tel : 06 37 12 98 59
e-mail : mariana.moreira@bretagne.chambagri.fr

Avec le soutien financier de :

