

Présentation des posters de l'îlot 3

Maitrise des transferts

Nombre de posters : 9



Leviers de réduction des GES



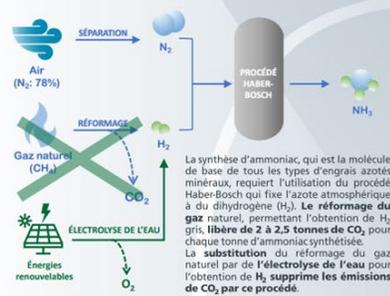
Réduire les émissions de gaz à effet de serre des engrais azotés, l'hydrogène vert et les micro-organismes comme levier.

M. STEFFEN, J. BONET GIGANTE, J. BRAÑAS LASALA, J. GONZÁLEZ PALOMA

Contexte

L'utilisation d'engrais azotés minéraux permet d'augmenter significativement le rendement des cultures, à tel point qu'on estime que 30% à 50% de la population mondiale est dépendante du surplus de production qu'ils octroient pour couvrir leurs besoins alimentaires. Bien que nécessaire dans le système agricole actuel, l'utilisation d'engrais azotés minéraux présente des inconvénients écologiques, notamment au niveau des émissions de gaz à effet de serre (GES). En France, on estime que 75% à 90% des émissions de GES des exploitations agricoles de production végétale proviennent, de manière directe et indirecte, de ces engrais. Environ 40% des émissions de GES des engrais azotés minéraux proviennent de leur fabrication, en grande majorité du réformage du gaz naturel pour l'obtention d'hydrogène, ce qui dégage du CO₂. Les 60% restants sont dus à leur utilisation au champ, puisque de l'oxyde nitreux (N₂O) est produit lorsqu'ils interagissent avec le sol et ses composantes. Bien que la quantité de N₂O émise ne soit pas très importante, le potentiel de réchauffement global de ce gaz (~265 équivalent CO₂) joue un rôle prépondérant dans le bilan carbone des exploitations.

Gaz naturel, poids lourd de la pollution à la production



H₂ vert à grande échelle pour décarboner la production

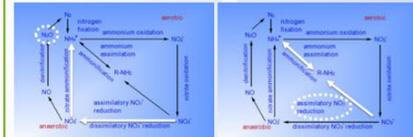
Fertiberia mène cinq méga-projets pour moderniser ces infrastructures et décarboner la production de plus de 2 millions de tonnes d'engrais annuelle en 2028 en utilisant l'H₂ vert au lieu de l'H₂ gris :

- HZF (solaire / Puertollano)
- Onuba (solaire / Palos)
- H2Deal (solaire / Avilés)
- Catalina (solaire + éolien / Sagunto)
- Green Wolverine (éolien + hydroélectrique / Luleå)

Puertollano, l'usine modèle pour la production des engrais azotés de demain

Assimilation biologique des nitrates (NO₃⁻) pour réduire les émissions de N₂O au champ

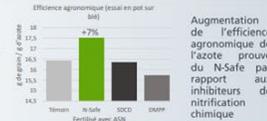
Recherche de micro-organismes (MO) effectuant l'assimilation biologique des NO₃⁻. L'assimilation des NO₃⁻ par les MO en les assimilant sous forme de protéines et en les libérant lors de leur mort permettant théoriquement de réduire les émissions de N₂O en diminuant la quantité de NO₃⁻ disponible pour la dénitrification.



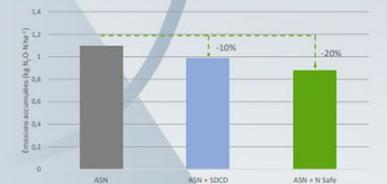
Circuit de dénitrification traditionnel / Circuit d'assimilation biologique des NO₃⁻



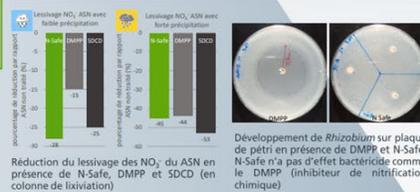
N-Safe, autres avantages



N-Safe, validation de la réduction des émissions de N₂O théorique



Les émissions de N₂O ont été mesurées sur des sulfonitrates (ASN). Trois modalités AQN ont été testées, sans traitement, traité avec DCD soluble (inhibiteur de nitrification chimique) et traité avec N-Safe. N-Safe réduit bien les émissions de N₂O. L'effet indirect d'« inhibiteur de nitrification » de la bactérie N-Safe est confirmé.



Auteur : Maxime Steffen
Poster n°21

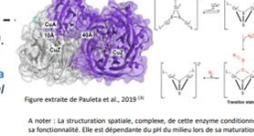
Réduire les émissions du gaz à effet de serre N₂O par les sols en agissant sur le fonctionnement de l'enzyme N₂O réductase

Henri BREFORT¹, B. NUJEL², F. BIZOUARD³, G. GUYERDET⁴, C. ROUSSET⁵, M. ARKOUN⁶, E. Barbier⁷, V. BOURION⁸, D. GARMYN⁹, A. HARTMANN⁹, C. REVELLIN⁹, A. ROUX⁶, B. SERBOURCE⁴, C. HÉNAULT¹⁰

¹UMR Agrobiologie, INRAE, Institut Agro, Université Bourgogne, Université Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France
²Laboratoire de Nutrition Végétale, Agrinnovation International – TIMAC AGRO, Saint-Malo, France

1. Introduction

La concentration atmosphérique du gaz à effet de serre N₂O augmente depuis l'industrialisation (1). Pour enrayer ce problème, nous devons réduire la production de ce gaz et/ou augmenter son élimination. Actuellement, le seul mécanisme terrestre connu permettant l'élimination du gaz N₂O est la dernière étape de la dénitrification où N₂O est réduit en N₂. Ce processus est catalysé par l'enzyme N₂O réductase, "a key environmental enzyme" (2) dont la synthèse est codée par le gène *nosZ*. La capacité des sols à réaliser cette fonction est hétérogène. Elle est faible dans les sols acides.



2. Objectifs

Favoriser le fonctionnement de l'enzyme N₂O réductase dans les sols. Nous développons deux approches complémentaires.

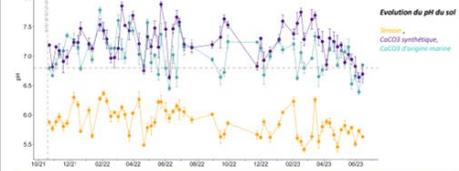
- Chaulage des sols acides pour atteindre pH = 6,8 pour rendre fonctionnelle l'enzyme N₂O réductase
- Culture de légumineuses inoculées avec un rhizobium possédant le gène *nosZ*

3. Matériels et Méthodes

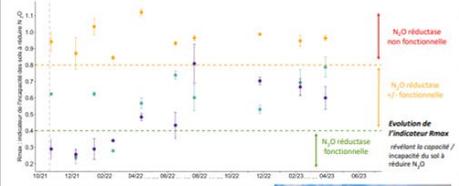
Echelle	In situ (essai en blocs) → sol sablo-limoneux avec un pH initial de 5.6 (Morvan)
Type d'apport	Incorporation après épandage
Traitements chaulants (3 t de VN/ha) Fin octobre 2021	<ul style="list-style-type: none"> Synthétique Carbonate de calcium synthétique Carbonate de calcium d'origine marine
Principales variables mesurées/calculées	<ul style="list-style-type: none"> Capacité / Incapacité du sol à réduire N₂O (ISO/TS20131-2) pH_{eau} (ISO 10390: 2005) Flux N₂O (méthode des chambres manuelles)

Echelle	In situ (essais en blocs)	Serres (essais en blocs) sur milieu inerte (perlite)
Type d'apport	Inoculation des graines avec le rhizobium	
Espèces cultivées	Soja	Trèfle, Féverolle, Arachide, Soja
Souches associées	G49 (<i>nosZ</i> ⁺) USDA138 (<i>nosZ</i> ⁻)	2 à 4 par espèces (4)
Principales variables mesurées/calculées	Flux N ₂ O (g ha ⁻¹ jour ⁻¹)	Evolution de concentration en N ₂ O (ppm) dans des systèmes d'incubation étanches

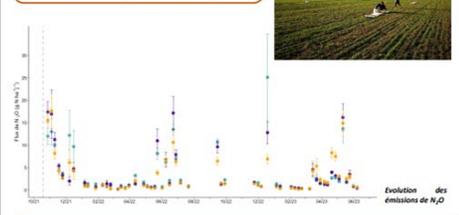
4. Résultats



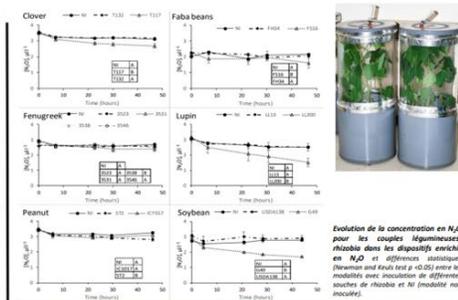
pH augmenté immédiatement après l'apport des produits chaulant et maintenu élevé pendant les 2 années de culture



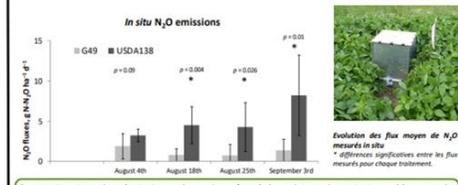
N₂O réductase fonctionnelle rapidement après l'apport des produits chaulant mais atténuation du signal dans le temps



La fonctionnalité de la N₂O réductase ne s'est pas exprimée (pas de réduction des émissions de N₂O) dans le contexte de ce site très drainant et peu émetteur de N₂O



N₂O réductase fonctionnelle à l'échelle de la plante entière inoculée, pour au moins une souche microbienne par plante testée (4)



Diminution des émissions de N₂O, grâce à la culture de soja inoculée avec la souche G49 (*nosZ*⁺) suggérant que l'enzyme N₂O réductase est fonctionnelle (4)

5. Conclusion générale

- Il est possible d'agir sur la fonctionnalité de la N₂O réductase dans les sols,
- Les conséquences en terme de réduction des émissions de N₂O par les sols dépendent aussi des autres conditions de milieu : dans d'autres situations étudiées, le chaulage avait permis de réduire les émissions de N₂O (5)
- La réduction de N₂O par les légumineuses inoculées s'ajoute à leur capacité à fixer l'azote : double effet « kiss cool » des légumineuses par rapport à la régulation du climat !
- Ces travaux sont à consolider sur différents aspects : Bilan N₂O/CO₂ (6), application in situ pour différentes espèces (pois, ...)

Leviers de réduction des GES



Auteur : Henri Bréfort
Poster n°24

IMPACT DE L'APPORT DES PRODUITS CHAULANT SUR LES ÉMISSIONS DE CO₂ DU SOL : DES EFFETS CONTRASTÉS OBSERVÉS À DIFFÉRENTES ÉCHELLES D'ÉTUDE

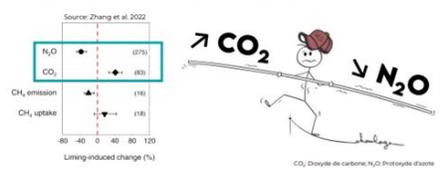
Rousset C.^(1,2), Nuel B.⁽³⁾, Mathieu O.⁽³⁾, Brefort H.⁽¹⁾, Guyardet G.⁽¹⁾, Bizouard F.⁽¹⁾, Jovicic I.⁽³⁾, Santoni A.L.⁽³⁾, Arkoun M.⁽⁴⁾, Hénault C.⁽¹⁾

⁽¹⁾UMR Apécologie, INRAE, Institut Agri, Université de Bourgogne, 21000 Dijon, France
⁽²⁾Phytoprotection, INRAE, Université de Bourgogne, 21000 Dijon, France
⁽³⁾Phytoprotection, INRAE, Université de Bourgogne, 21000 Dijon, France
⁽⁴⁾Laboratoire de Biologie Végétale, Agrobiotech, Montpellier, 34293 Montpellier, France

CONTEXTE

- > L'intérêt du chaulage pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) des sols est conditionné par l'évolution du carbone des carbonates de calcium (CaCO₃) apportés.
- > Une méta-analyse récente (Zhang *et al.*, 2022) suggère que l'application de **produits chaulant carbonatés (PCC)** sur les sols acides :
 - les émissions de protoxyde d'azote (N₂O)
 - les émissions de CO₂ (d'origine inorganique et organique).

UNE QUESTION D'ÉQUILIBRE



Comment évoluent les émissions de CO₂ des sols acides après l'apport de CaCO₃ ?

MATÉRIEL & MÉTHODES

1 SOL
Brunisol, Sablo-limoneux
pH_{initial} = 5,6
Taux de MO = 4,5 % (δ¹³C = -27,28 ‰) MO: matière organique

2 ÉCHELLES
Sol intact (au champ)
Sol déstructuré

3 MODALITÉS DE CHAULAGE
3 t VN (valeur neutralisante) ha⁻¹

Témoins (sans PCC)
SC : CaCO₃ de laboratoire (VN=52, δ¹³C = -6,885 ‰)
MC : CaCO₃ Calcimer® (VN=40, δ¹³C = 1,5865 ‰)

Expérimentation au champ (octobre 2021 - juillet 2022)
Application PCC, Semis du seigle, Installation des charnières statiques

Expérimentation sur sol déstructuré (45 jours)
Fertilisation azotée (50 kg N ha⁻¹), Récolte Analyse du COS (Quantité et qualité - Rock-Eval®)

Prélèvement de sol sur les parcelles témoins pour l'expérimentation sur sol déstructuré

• Emissions de CO₂
• pH_{eau}
• Emission de N₂O
• Humidité du sol, N minéral et température*

CO₂: Carbone Organique du Sol
*Données disponibles mais non présentées dans ce poster
Veauve under review: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1400088>

FC: Capacité au champ

• Emissions de CO₂ [émissions de N₂O]**
• δ¹³C-CO₂
• pH_{eau}
• Humidité du sol, N minéral, DOC/DIC**
DOC au DIC: Carbone organique (ou inorganique) dissous
**Données disponibles mais non présentées dans ce poster

AU CHAMP

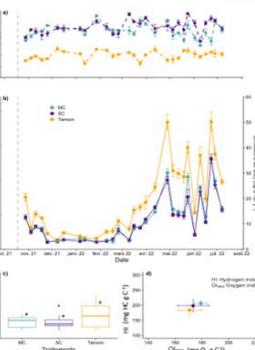


Figure 1 Evolution (a) du pH et (b) des émissions de CO₂ au cours du temps. Concentration en COS (c) et position des échantillons de sol dans le diagramme pseudo-van Krevelen (d), après récolte pour les 3 traitements.

RÉSULTATS - DISCUSSION

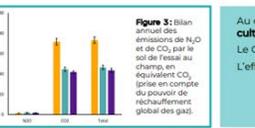
1. pH
L'apport des PCC modifie significativement et durablement le pH du sol quelque soit l'échelle d'étude. (Figure 1a & 2a)

2. Emissions de CO₂
Effets contrastés selon l'échelle d'étude.
Diminution significative des émissions de CO₂ après apport de PCC au champ. (Figure 1b)
Augmentation rapide et significative des émissions de CO₂ émises après apport de PCC sur sol déstructuré. (Figure 2b)

3. Résultats complémentaires
Pas de différence entre les traitements sur le taux de COS. (Figure 1c)
Contribution rapide des produits chaulant aux émissions de CO₂ du sol: δ¹³C-CO₂tempoim < δ¹³C-CO₂PCC (Figure 2c)

Evolution de la composition chimique du COS après apport de PCC. (Figure 1d)

Figure 2 Evolution (a) du pH, (b) des quantités de CO₂ émises et (c) de la signature isotopique du C contenu dans le CO₂ (δ¹³C).



Au champ, l'application de PCC a permis d'éviter l'émission de **7,5 t de CO₂eq ha⁻¹ pendant la période de culture**, soulignant le potentiel des pratiques de chaulage sur le service de régulation du climat. Le CaCO₃ contribue probablement à la stabilisation du COS, grâce à l'effet du Ca²⁺ (Paradelo *et al.* 2015). L'effet contradictoire des PCC sur les émissions de CO₂ selon l'échelle d'étude :
➢ démontre l'importance de la structure du sol vis-à-vis de cette thématique,
➢ suggère que la modalité « condition expérimentale » soit prise en compte dans les analyses telles que celle de Zhang *et al.* (2022).

Auteur : Camille Rousset
Poster n°25



Leviers de réduction des GES



QUANTIFICATION DES TENEURS EN NUTRIMENTS DANS LES SOLS DE PARCOURS DE POULES PONDEUSES

Poulain, V.¹, Obriot, F.¹, Coutant, C.¹, Le Roux, C.¹, Leborgne G.², Beaumont M.²
¹LDAR, Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche de l'Aisne, Laon, France - E-mail : fabriot@aisne.fr ; cleroux@aisne.fr
²Chambre d'Agriculture de l'Aisne, Laon, France

INTRODUCTION

Parcours mis en place pour l'élevage de poules pondeuses en plein air (conventionnel ou agriculture biologique)

Fréquentation hétérogène du parcours par les poules [1] → Répartition hétérogène des fientes, concentrées à proximité du poulailler

Augmentation localisée des risques de fuite d'éléments fertilisants → eutrophisation, acidification, changement climatique

Quelle répartition et quelle importance des teneurs en nutriments dans les sols de parcours ?

Compartiments et flux d'azote et du phosphore à partir du sol (d'après [2])

MATÉRIEL ET MÉTHODES

SITES ÉTUDIÉS

3 parcours situés dans l'Aisne, suivis sur 2 ans (automne 2021 - printemps 2023) :

- 2 élevages en plein air (SP02 et LO08)
- 1 élevage en agriculture biologique (VA01)

PLAN DE PRÉLÈVEMENT DE SOL

3 distances sur 1 ou 2 sorties des trappes du poulailler :

- Zone proche (10-15 m)
- Zone intermédiaire (20-30 m)
- Fond de parcours (50-58 m)

En zone **enherbée** et **sous jeunes haies** (suivant le parcours)

MÉTHODE DE PRÉLÈVEMENT

5 prélèvements élémentaires homogénéisés
3 horizons prélevés (jusqu'à 90 cm de profondeur)

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

- **Caractérisation du sol** : analyse granulométrique, teneur en carbonates, carbone organique et azote total
- Dosage de la **teneur en azote minéral** (NO₃⁻ et NH₄⁺) en **entrée (REH)** et **sortie d'hiver (RSH)**
- Dosage des **autres éléments majeurs** (P-Olsen, K et Mg échangeables...) et **oligo-éléments** (Cu²⁺ et Zn²⁺ - EDTA)

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Texture des horizons de surface prélevés sur les parcours en automne 2021

Des parcours qui se différencient par leur texture :

- **SP02** : Limon argileux profond dominant
- **LO08** : Limon argilo-sableux à limon moyen sableux, ponctuellement sur calcaire à 45-60 cm de profondeur
- **VA01** : Limon argilo-sableux dominant, sur calcaire à 45 cm de profondeur à proximité du bâtiment

REH et RSH mesurés jusqu'à 90 cm de profondeur (excepté les points marqués d'un astérisque, à 75 cm de profondeur ; et de 2 astérisques, à 45 cm de profondeur) en fonction de la distance au poulailler, et comparaison des mesures

Des niveaux de reliquats négativement corrélés à la distance au poulailler
 (Test de corrélation de Spearman, REH : $r_s = -0,81, p < 0,001, S = 3\ 669$; RSH : $r_s = -0,65, p < 0,001, S = 3\ 340$)

- **Diminution à tendance exponentielle des REH mesurés avec l'éloignement au poulailler**
- **RSH correspondants témoignent de pertes potentielles importantes à proximité du poulailler**
- Niveaux de risques **spécifiques à chaque site** : taille de l'élevage, âge du parcours, historique, conditions pédoclimatiques différents

Limites :

- **Étude restreinte** à l'effet de la **fréquentation du parcours par les poules entre mai et novembre** (en raison des épisodes de **grippe aviaire**, poules **confinées sur la période hivernale**)
- **Pas d'effet d'atténuation** des reliquats par la **présence de haies**, en raison de leur **immaturité**

CONCLUSION

- **Niveaux de reliquats élevés jusqu'à 25 m de distance, liés aux dépôts préférentiels de déjections** par les poules à **proximité du poulailler**

Autres éléments :

- **Tendance similaire détectée pour le P** (sans valeurs extrêmes du P-Olsen : 0,050-0,196 mg/kg) sur les parcours étudiés et **enrichissement en K, Mg et Zn²⁺ à proximité du poulailler**

Mise en place nécessaire d'une combinaison de **mesures d'atténuation** [3] :

- 1. Encourager l'exploration** par les poules à l'aide de **végétation** additionnelle (parcours arboré), **d'abris** et **objets** (balles de foin)
- 2. Exporter les déjections** par des **litières** aux abords du poulailler et **atténuer l'exploitation** du parcours avec des bâtiments mobiles et des rotations

BIBLIOGRAPHIE :

[1] Chielo, Leonard Ikenna, Tom Pike, and Jonathan Cooper. "Ranging behaviour of commercial free-range laying hens." *Animals* 6.5 (2016): 28.
 [2] Heisterberg, Dean. "Biogeochemical cycles and processes leading to changes in mobility of chemicals in soil." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 67-3 (1998): 121-133. [3] van Niekerk, T. G. C. M., et al. Inventarisatie van de effecten van uitslootpluimveehouderij op bodem-, water- en luchtkwaliteit. No. 954. Wageningen UR Livestock Research, 2016. *Icons of The Noun Project* : karyative, Made, Hamel Khaled, Kukuh Wachyu Bias, tanzar tular

16èmes Rencontres Comifer-Gemas : 21-22 novembre 2023 - Tours

Leviers de réduction des GES



Auteur : Fiona Obriot
Poster n°26



Un territoire pilote pour mieux comprendre les émissions et la dispersion de l'ammoniac



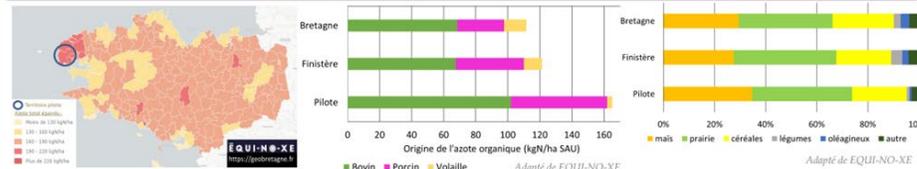
A Guézengar¹, L Oddos¹, K Geffroy¹, M Le Quilleuc², J Lenouvel³, Y Gloaguen¹

¹Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Rennes, France; ²Air Breizh, Rennes, France; ³FRCLUMA Ouest, Pacé, France

Contexte et enjeux

Le PREPA (plan national de réduction des émissions des polluants atmosphériques) se donne l'objectif de réduire les émissions d'ammoniac de 13 % à l'horizon 2030 par rapport à 2005. Le projet ABAA vise à accompagner le monde agricole dans ce défi à travers la mise en œuvre d'une démarche territoriale ayant vocation à s'étendre à l'ensemble de la région Bretagne. Le développement d'un réseau de mesures des concentrations d'ammoniac dans l'air ambiant est l'un des outils utilisés. Le territoire équipé doit permettre de mieux comprendre les émissions et la dispersion de l'ammoniac sur une zone restreinte où les agriculteurs sont volontaires pour partager leurs pratiques.

Le territoire pilote : une forte densité d'élevage



Le territoire pilote est situé à l'ouest de Brest. La pression en azote organique épandu s'y élève à 136kgN/ha, et celle en azote minéral atteint 69 kgN/ha. La moyenne bretonne est de 107 kgN organique/ha et 61.5 kgN minéral/ha.

L'élevage bovin est 50% plus concentré sur le territoire pilote que sur le territoire finistérien et breton. L'élevage de porcs y est 40% plus dense que dans le département et 2 fois plus dense que la moyenne régionale. La filière avicole est peu présente. Elle est 3.5 à 4 fois plus présente dans le département et la région.

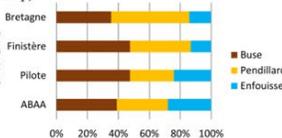
Le territoire pilote comprend 40% de prairie, comparable au reste du département et 35% de maïs soit 7% de plus que le reste du département. Les cultures de diversification sont plutôt moins présentes qu'ailleurs.

Les pratiques des exploitations engagées dans le groupe ABAA

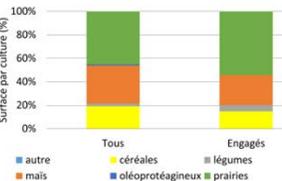
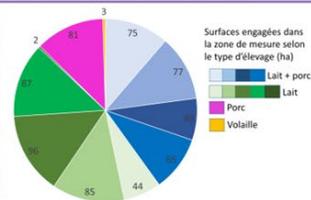
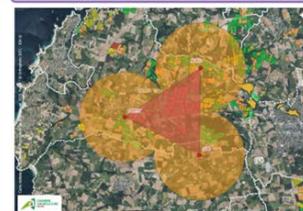
Le groupe ABAA, c'est 21 exploitations (18 élevages bovins, 2 élevages de porcs, 1 élevage de volailles), 7 coopératives d'utilisation du matériel agricole (CUMA), 2 entreprises de travaux agricoles (ETA). Le groupe a bénéficié d'un diagnostic initial (CAP2ER, Geep).

	Groupe ABAA	Bretagne	Groupe / Région
Production (L/vaches laitières)	7910	7281	+8%
Chargement (UGB/ha SP7)	1,27	1,61	+22%
Surface de stéréobés (ha)	20	9	+22%
Concentre vaches laitières (g/L)	136	127	+7%
Concentre (kg/UGB génisse)	441	650	-32%
Age au vêlage (mois)	26	28	-8%
Taux de renouvellement (%)	30	32	-6%
UGB génisse / UGB Vt. (%)	39	40	-2.5%

Parmi les volumes de lisiers gérés par les CUMA, davantage sont épandus par enfouisseurs dans le groupe ABAA



La zone de mesure : 3 stations sur un triangle de 4km de côté



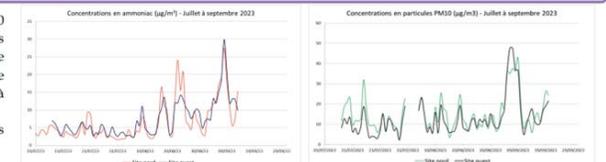
3 stations de mesures sont équipées d'analyseurs en continu des concentrations en ammoniac et en particules PM10. Une de ces stations est équipée de filtre de spéciations des particules et enregistre les données météorologiques.

Dans la zone de mesure, 10 agriculteurs contribuent à renseigner les pratiques d'épandage dans l'outil Agrivision[®]air. Ils y travaillent de 2 à 96 ha. Leurs surfaces représentent 23% de la SAU de la zone.

La diversité des cultures du groupe est représentative de la diversité des cultures de la zone. Les surfaces de prairies sont surreprésentées (+9%) et celles de maïs sous-représentées (-7%) parmi les parcelles engagées.

Les premières mesures d'ammoniac et particules PM10 dans l'air ambiant

Les niveaux de fond en ammoniac et en PM10 sont proches entre le site nord et le site ouest. Les concentrations mesurées sont cohérentes avec une installation au cœur des sites d'élevages. Une variabilité importante est observée d'un jour à l'autre en ammoniac et en particules fines. Les mesures et leurs interprétations seront menées jusqu'à la fin du projet, en août 2025.



Auteur : Anne Guézengar
Poster n°18

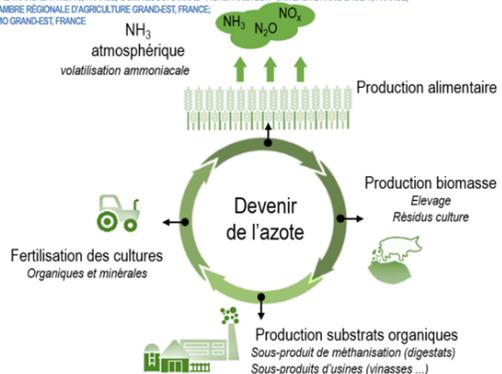
Leviers de réduction des GES





ANNE-SOPHIE LISSY^{1,2}, HONORINE GABRIEL³, LAETITIA PREVOST³, EVE CHRETIEN⁴,

¹ INRAE TRANSFERT METYS, FRANCE, ² AIR ECOSYS INRAE - AGROPARISTECH - UNIVERSITE PARIS-SACLAY, FRANCE,
³ CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE GRAND-EST, FRANCE,
⁴ ATMO GRAND-EST, FRANCE

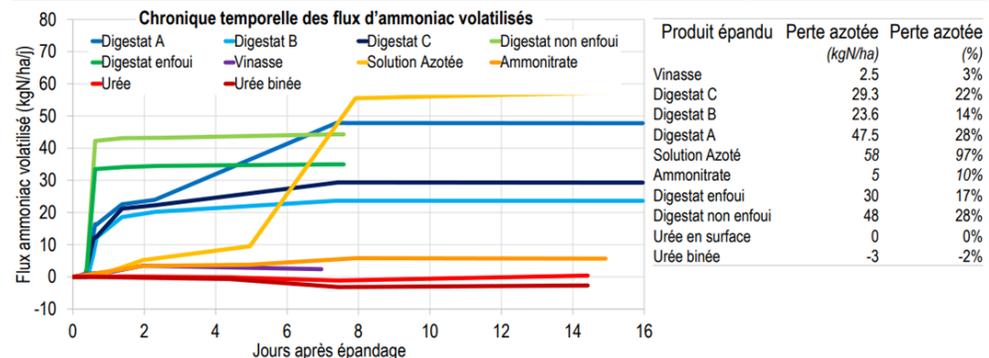


L'azote est vital pour les cultures, il entre dans la composition des protéines, dans l'ADN et joue un rôle dans la photosynthèse. L'apport de cet élément a permis d'augmenter les rendements agricoles et nourrir les populations. Cependant son utilisation massive entraine un déséquilibre dans l'environnement et des pollutions diffuses : dégradation de la qualité de l'eau (nitrates), de la qualité de l'air (ammoniac est précurseur de particules fines), contribution au changement de climatique (production d'engrais minéraux et épandages).

La mesure des flux d'ammoniac dans l'environnement est complexe, et différentes méthodes existent et ont été testées dans le cadre du projet PEI PARTAGE. Ce projet a pour objectif de tendre au bouclage du cycle de l'azote, et un des axes se concentre sur la réduction des pertes d'azote à l'échelle des systèmes de culture. Afin de quantifier ces pertes par volatilisation, différents fertilisants ont été épandus (digestats avec ou sans additif, engrais minéraux, vinasses) selon différents modes d'épandage (rampe à patins, pendillard, enfou, binage).

L'objectif de ces expérimentations était de quantifier les flux d'ammoniac volatilisés au moment de l'épandage et dans les jours suivants (7 à 16 jours). L'application de la méthode Volat'NH₃ avec un réseau de capteurs APLHA, associés à la mesure de la météorologie, permet via un modèle (FIDES) de déterminer les flux d'ammoniac par modalité (produit et technique d'épandage).

Période suivie	Produits épandus	Culture	Méthode d'épandage
23/02 au 02/03/2022	Vinasse	Sol nu	Rampe à patins
15/03 au 30/03/2022	3 digestats	Blé	Pendillard
20/04 au 27/04/2022	Digestat	Avant maïs	Enfouisseur & pendillard
30/03 au 14/04/2022	Solution azotée & ammonitrate	Blé	Pulvérisateur & épandeur à engrais
13/06 au 27/06/2022	Urée & urée binée	Maïs	Épandeur à engrais & bineuse



Le projet a permis de tester une diversité de fertilisants épandus et de techniques d'apport, sur des cultures en place avec l'intérêt de :

- Quantification des émissions ammoniacales des différentes pratiques agricoles dans différents contextes pédoclimatiques propres à la région
- Comparaison des méthodes de mesures : réseau de capteurs ALPHA, via la méthode Volat'NH₃ d'INRAE Transfert Metys avec des micro-capteurs, de la télédétection (en développement et testé pour la première fois en domaine agricole) et un analyseur automatique (Picarro).

La comparaison faite entre l'analyseur automatique et les capteurs APLHA montrent qu'ils sous-estiment légèrement les concentrations mais que la dynamique temporelle est très proche entre les deux méthodes. La comparaison avec les micro-capteurs montrent que ces derniers captent bien la dynamique d'émission mais les concentrations mesurées ne reflètent pas celles mesurées par les capteurs ALPHA et l'analyseur automatique. La limite de détection des micro-capteurs est trop faible pour une mesure fiable dans l'air en domaine agricole (350 µg/m³).

La comparaison entre méthodes montrent que la méthode Volat'NH₃ donne les résultats robustes et est la plus facile à mettre en œuvre (cout du matériels et accessibilité). Cependant les comparaisons de méthode sont faites uniquement sur les concentrations en azote ammoniacal (µg/m³) et il est délicat d'aller plus loin dans les comparaisons (limites des méthodes : temps d'exposition, volume d'air investigué).

Leviers de réduction des GES



Auteur : Anne-Sophie Lissy
Poster n°22





Fertilisation azotée du blé : Solide ou liquide ?

Effets de la présentation physique des engrais azotés minéraux sur la dynamique d'absorption de l'azote.



Marc Lambert
Service Agronomique Yara France

Knowledge grows

Contexte : En grandes cultures, le débat sur l'efficacité des formes d'azote anime la communauté agronomique depuis des décennies. Parmi les principaux engrais azotés minéraux utilisés, seule la solution azotée se présente sous une forme liquide. Depuis de nombreuses années, la solution azotée est reconnue comme l'engrais présentant la moins bonne efficacité agronomique comparativement aux autres formes. Le classement à la sensibilité aux pertes par volatilisation ammoniacale des engrais minéraux azotés (Nitrate < Ammonitrate < Solution azotée < Urée) n'est pas en cohérence avec celui de l'efficacité agronomique (Nitrate = Ammonitrate > Urée > Solution azotée). Le fait que la solution azotée soit le seul engrais liquide interposé sur l'importance de la présentation physique sur les performances agronomiques. L'objectif de ce réseau de 6 essais sur blé réalisés sur 3 ans est de tenter de faire la part des choses entre la composition chimique de l'engrais (azote nitrique, ammoniacal, uréique) et sa présentation physique, solide granulé ou solution liquide.

Matériel et méthode :
Fertilisants testés : le spectre des principales formes chimiques de l'azote minéral a été parcouru.
 Chaque engrais solide sélectionné sera utilisé sous sa forme habituelle mais également sous une forme liquide correspondante existante sur le marché. Dans le cas de la solution azotée, des apports successifs d'ammonitrate et d'urée sans mélange permettent de recréer l'équivalent « solide » de la solution azotée.

Engrais de référence				
Engrais	Code	Teneur en N% p/p	Azote nitrique	Azote ammoniacal
Nitrate de calcium	CN - S	15,5	93%	7%
Ammonitrate	AN - S	33,5	50%	50%
Solution azotée	UAN - L	30	25%	25%
Urée	UREE - S	46	100%	

Forme liquide ou solide alternative				
Engrais	Code	Teneur en N% p/p	Azote nitrique	Azote ammoniacal
Nitrate de calcium liquide	CN - L	8,5	93%	7%
Ammonitrate liquide	AN - L	18	50%	50%
Solution azotée «solide»	UAN - S	46	Apport successif d'urée 4/6 et d'ammonitrate 33,5	
Urée liquide	UREE - L	14,95		100%

Réseau d'essais : De 2019 à 2021, 6 essais ont été mis en place dans 2 types de milieux différents : limons argileux moyennement profonds du Gâtinais (91) et Craie de Champagne (51).

Dispositif expérimental : Essais factoriel à 4 blocs et 8 modalités conduites à la dose X, 4 types d'engrais (CN - AN - UAN - Urée) x 2 formes physiques (Solide ou liquide (S-L) - 80 parcelles 3m x 10-12m).

Suivi des essais : Le dispositif d'essai est doublé pour permettre d'une part un suivi classique avec récolte (peuplement, rendement, PS, pmg, épis/m², grains/m², teneur en protéines) et d'autre part, un suivi de la dynamique d'absorption des nutriments (N, P, K, Mg, Si) et des CAU à 7 dates du tallage à la maturité (22-27, 23-20, 23-27, 23-37, 23-45, 25-59, 26-69, 28-92).

Modalités de fertilisation : Dose X fractionnée classiquement en 3 apports (40 - (X-100) - 60), tallage - ép à 1cm - dernière feuille. Couverture soufre systématique : 40 kg SO₃ (sulfate de magnésium).

Analyses statistiques : Anova à comparaison de moyennes (tukey) par essai + Analyse du réseau global par modèle linéaire mixte + test tukey sur les moyennes.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Rendement

Moyenne 6 essais 2019-2021 - rendement (q/ha)

Pas d'effet de la composition chimique

Moyenne 6 essais 2019-2021 - rendement (q/ha)

Effet très significatif de la présentation physique

Moyenne 6 essais 2019-2021 - rendement (q/ha)

Teneur en protéines

Moyenne 6 essais 2019-2021 - Protéines (%MS)

Effet très significatif de la composition chimique

Moyenne 6 essais 2019-2021 - Protéines (%MS)

Effet très significatif de la présentation physique

Moyenne 6 essais 2019-2021 - Protéines (%MS)

Azote absorbé plante entière récolte

Moyenne 6 essais 2019-2021 - Azote absorbé plante entière récolte (kg N/ha)

Pas d'effet significatif de la composition chimique

Moyenne 6 essais 2019-2021 - Azote absorbé plante entière récolte (kg N/ha)

Effet très significatif de la présentation physique

Moyenne 6 essais 2019-2021 - Azote absorbé plante entière récolte (kg N/ha)

Dynamique absorption N

Dynamique CAU%

Pas d'effet de la composition chimique

Effet significatif de la présentation physique

CONCLUSION

Ces 6 essais ont démontré de manière très convergente qu'il existait un **effet significatif de la présentation physique** des engrais azotés minéraux. Systématiquement, la **forme liquide semble fournir des performances inférieures** aux formes solides sur le rendement, les teneurs en protéines, les quantités d'azote absorbées et les coefficients apparents d'utilisation de l'azote au long du cycle. A contrario, la composition chimique de l'engrais azoté (N nitrique - ammoniacal - uréique), tous types de présentations physiques confondues, ne paraît pas être un facteur statistiquement discriminant. Néanmoins, le **nitrate de calcium apporterait une légère amélioration des performances** sur les quantités d'azote absorbé, teneur en protéines et CAU mais non significative. La solution azotée « solide » (ammonitrate solide et urée solide) s'avère un engrais tout à fait performant à l'opposé du nitrate d'ammonium « liquide » souvent le moins performant des 8 engrais testés dans les conditions de nos essais. Nous n'avons pas exploré les facteurs explicatifs de ce constat : organisation microbienne supérieure avec les formes liquides en raison d'une surface de contact supérieure avec le sol ? Ce type d'essai est actuellement étendu à d'autres cultures.

Auteur : Marc Lambert
Poster n°27

Leviers de réduction des GES



Outils d'aide à la décision



cbaa **air** **agriculteurs breizh**

Développement de l'outil web Agrivision'air : une prévision de la volatilisation de l'ammoniac à l'épandage

L. Oddos¹, N. Moreau², A. Guézengar¹, L. Beff³, S. Leray², M. Le Quilleuc²

¹Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Rennes, France
²Air Breizh, Rennes, France
³www.agrivisionair.fr

comifer **Gemas**

agrivisi'N'air
www.agrivisionair.fr

Contexte et enjeu

Le projet ABAA mené en partenariat par la Chambre d'agriculture de Bretagne et Air Breizh vise à réduire les émissions d'ammoniac (NH₃) d'origine agricole en s'inscrivant dans l'engagement national du PREPA (-13% d'émissions entre 2005 et 2030). Un des moyens est le développement d'un OAD pour la réduction des émissions de NH₃ à l'épandage. Le but est d'apporter aux réalisateurs d'épandage, devant composer avec de nombreuses contraintes, des informations aujourd'hui méconnues, via un outil simple et rapide d'utilisation, pour mieux appréhender les moyens à mettre en œuvre pour la réduction de la volatilisation à l'épandage.

Estimer la volatilisation pour une pratique d'épandage en lien avec conditions météorologiques

Les Facteurs d'Emission et d'Abattement (FE et FA) liés aux pratiques d'épandage sont référencés dans des sources validées (ex. ¹Saisi par l'agriculteur, ²RMT élevage et environnement, 2019, ³Concept-Dig, 2019 et Ferti-Dig, en cours en 2023, ⁴CTEPA, 2018, ⁵LBC Méthode GC, 2021, ⁶OMINEA, 2022).

$$N-NH_3 \text{ émis (kg/ha)} = \text{Qté produit effluent (t ou m}^3\text{/ha)}^1 \times \text{teneur N-NH}_3 \text{ (g/kg)}^{1,2,3} \times \text{FEproduit}^4 \times \text{Famatériel}^5 \times \text{FAdélai_enfouissement}^6$$

Définition d'un indice de la volatilisation sur la base de modèles météorologiques

Caractériser le risque de volatilisation lié aux conditions météo de la journée avec :

- Cycle diurne
- Stabilité de l'atmosphère (longueur Monin-Obukhov)
- Vitesse du vent
- Précipitations (cumul de pluie)

Définition de 4 classes d'indices - représentés sur la carte - via la modélisation (modèle MMS puis WRF, de la plateforme EMERALDA) et tests de sensibilité par Airpy (outil d'exploitation de données).

Air Breizh envoi quotidiennement l'indice vers Agrivision'air.

Calibrer l'impact de l'indice de volatilisation sur les émissions de NH₃ avec le modèle ALFAM

Pour chaque classe d'indice : définition d'un Facteur de Modulation (FM) de la quantité d'azote volatilisé.

Classe d'indice	FM
Faible	1
Moyen	1.2
Modéré	1.4
Fort	1.55

Utilisation du modèle ALFAM (Sogaard, 2002) pour borner le FM sur une gamme réaliste de variation de la volatilisation. Calculs réalisés sur les chroniques météo bretonnes (*) de 2019, 2020 et 2021 à Rennes et Brest.

Adaptation du calcul en ajoutant la **composante météorologique** :

$$N-NH_3 \text{ émis (kg/ha)} = \text{Qté produit effluent (t ou m}^3\text{/ha)} \times \text{teneur N-NH}_3 \text{ (g/kg)} \times \text{FEproduit} \times \text{Famatériel} \times \text{FAdélai_enfouissement} \times \text{FMindice_volat}$$

L'indice est disponible depuis début 2023. Une comparaison des résultats ALFAM et Agrivision'air est prévue sur la suite du projet pour situer l'estimation de cet OAD par rapport à un modèle plus complexe et validé.

Evaluer l'impact des sols bretons sur la volatilisation

La grille COMIFER d'évaluation de la volatilisation pour les engrais minéraux (2022) propose des seuils sur le pH et la CEC resp. de 7 et 7.5 et de 12 mcq/100g terre.

80 % des sols breton : pH < 7
70 % des sols breton : CEC < 12
Sol considéré comme homogène.

Dernier décile du pH eau (2010-2014) - BDAT

Classe	Seuil
0	< 6
1	6 - 7
2	7 - 7.5
3	7.5 - 8
4	> 8

Sols avec un pH > 7 en majorité sur la zone légumière (Nord) où les apports d'azote sont parmi les moins élevés de la région et principalement avec de l'engrais minéral.

Fréquence de la note COMIFER sur les conditions météo bretonnes (*) en période d'épandage selon les conditions de sols indiquées

Le sol « Agrivision'air » est le sol violet. Sur les 25% des sols où on fait un erreur, on se trompe de 20 à 30% dans la majorité des conditions météo rencontrées sur les chroniques étudiées.

Créer des indicateurs pour faciliter la compréhension du résultat

1. Efficacité de la fertilisation : % N-NH₃ volatilisé / N total apporté

2. Efficacité de la combinaison matériel et délai d'enfouissement : Calcul du F_{amatériel} * F_{adélai_enfouissement}

	< 4h	4 - 12h	12 - 24h	> 24h	Non enfouir
Buses / Pulvé / Distributeur / Epandeur fumier	0.3	0.5	0.75	0.95	1
Pendillards, patins	0.21	0.35	0.53	0.67	0.7
Injecteurs	0.3				

Exemple de résultat sur une journée

1. Demain ammoniac volatilisé : 26 Kg N-NH₃ / ha

2. 3. Indicateurs de risque

Produire une synthèse à l'aide de graphiques pédagogiques pour agir à plus long terme

A partir de l'enregistrement des pratiques d'épandage réalisées, production de graphiques (exemples ci contre) :

- Indicateur économique (convertit la quantité d'N-NH₃ par le coût de la tonne d'ammonitrate)
- Récapitulatif des indicateurs du résultat de la simulation sur le jour choisi
- Efficacité de la fertilisation moyenne par type de produit épandu

L'ensemble des informations permettent à l'utilisateur d'agir à court terme ou de prendre connaissance des moyens à mettre en œuvre à plus long terme pour réduire la volatilisation.

La quantité d'ammoniac volatilisée correspond à une perte de 746€

Emissions, Matériel, MMS

Projet soutenu par BOUCLAGE

Travail réalisé grâce à des financements LIFE et CRB

Auteur : Léna Oddos
Poster n° 19

