

GT PRO COMIFER

24/03/2022

Recycler les urines humaines en agriculture

Résultats issus de la thèse de Tristan Martin (2020) et du programme Agrocapi

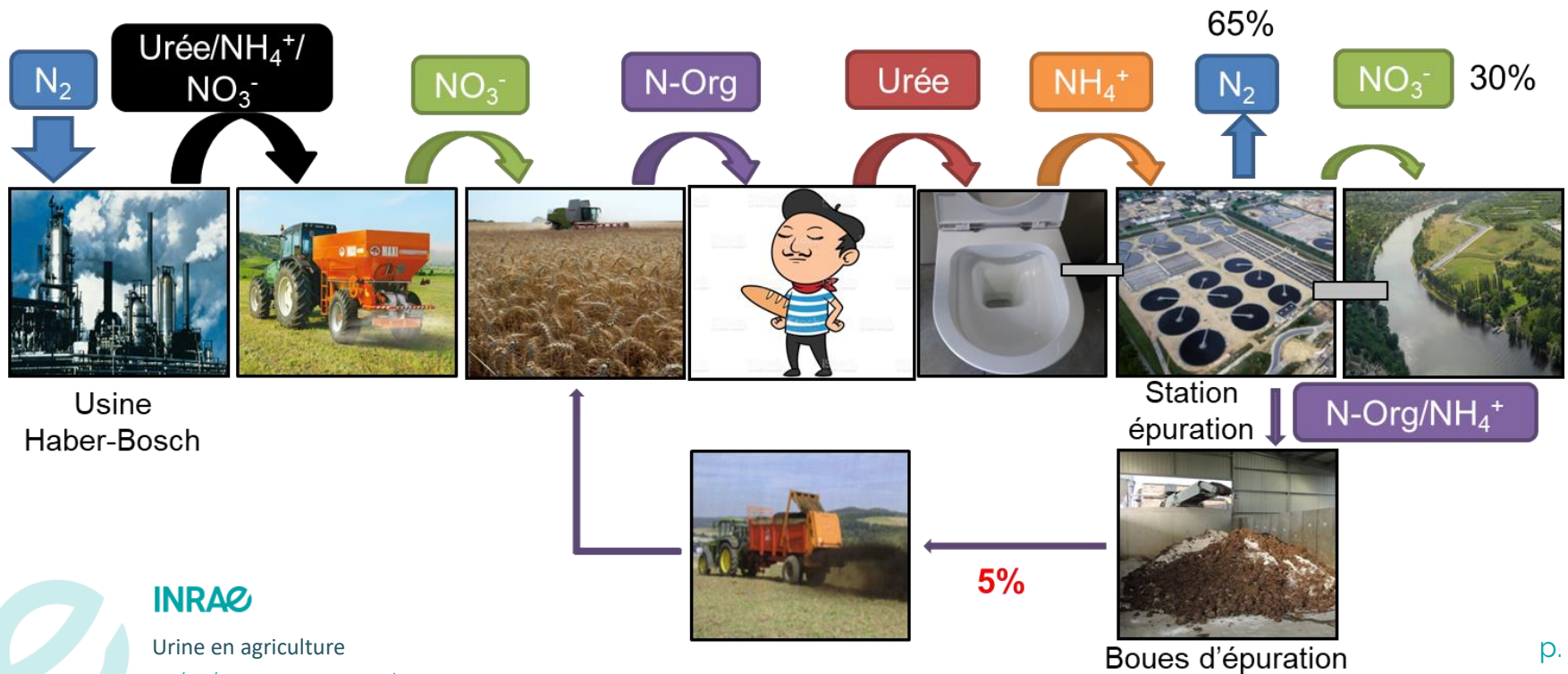
Tristan Martin, Florent Levavasseur, Fabien Esculier, Sabine Houot

¹ UMR INRAE AgroParisTech Université Paris-Saclay ECOSYS, Thiverval-Grignon

² École Des Ponts ParisTech, UPEC, UMR LEESU, 6-8 Avenue Blaise Pascal, 77455 Champs-sur-Marne, Marne-la-Vallée, France

➤ Pourquoi récupérer les urines ?

- Fabrication engrais : consommation énergie / ressource fossile
- Urine contient majorité des nutriments excrétés, mais diluée dans les eaux usées
- Station d'épuration : pertes N vers eau et air, conso d'énergie et émissions GES
- Très faible taux de recyclage actuel N, alors que fort potentiel (>100% des besoins en IDF)



➤ Collecte sélective des urines à la source

- Toilette séparative / urinoir pour éviter la dilution et la contamination croisée avec les eaux grises



Urinoir sec masculin
(École des Ponts)



Urinoir sec féminin
(Marcelle)



Toilettes à séparation
(Roediger)

- Caractéristiques de l'urine :
 - Azote (≈ 5 g/l) excrété majoritairement sous forme uréique
 - Hydrolyse rapide de l'urée en N ammoniacal
 - Autres nutriments présents : (P), K, μ nutriments, ...
 - Contaminants : peu de pathogènes mais contamination croisée possible, micropolluants organiques dont pharmaceutiques
- Possibilité de traiter l'urine : concentration, stabilisation N, contaminants...

> Plan

- ***En quoi les différents urinofertilisants peuvent répondre aux besoins azotés des plantes en réduisant les impacts de la fertilisation et de la gestion des eaux usées***

1) Introduction

2) Quels traitements possibles de l'urine ?

3) Quelle volatilisation ammoniacale associée à leur apport ?

4) Quelle efficacité fertilisante des urinofertilisants?

5) Quels impacts environnementaux des filières de valorisation ?

6) Quelle contamination (médicaments, pathogènes...) ?

7) Conclusion



➤ Traitements de l'urine

- Azote uréique rapidement hydrolysé en azote ammoniacal sensible à la volatilisation → intérêt de stabiliser l'azote sous une forme moins sensible :
 - Maintenir l'azote sous forme uréique par acidification (ajout d'acide, fermentation) ou alcanilisation avant hydrolyse
 - Acidifier l'urine après hydrolyse de l'urée ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+$)
 - Nitrification ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_3^-$)
 - Mélange avec de la matière organique (organisation)
 - Urine = fertilisant dilué. Intérêt de la réduction du volume : évaporation (avec stabilisation N préalable), congélation-décongélation, osmose, distillation membranaire
 - Traitements des contaminants : charbon actif
 - Traitements : +/- efficaces et +/- consommation de réactifs et d'énergie
- besoin d'évaluer l'ensemble de la chaîne (traitement jusqu'au champ)



Urine stockée



Urine fraîche acidifiée



Urine fermentée



Urine stockée acidifiée



Urine nitrifiée concentrée



Urine alcalinisée déshydratée



Urine fraîche + copeaux bois



Urine stockée + compost

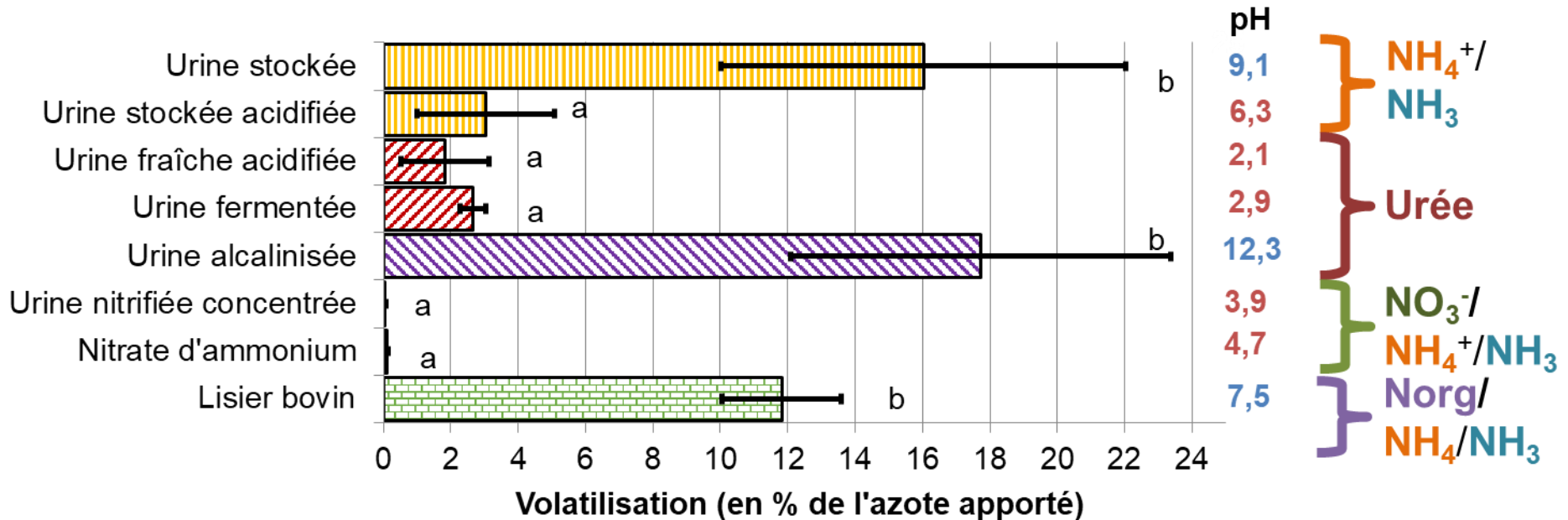
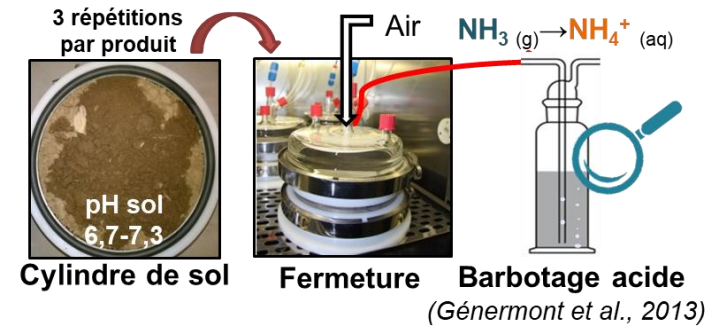
> Plan

- ***En quoi les différents urinofertilisants peuvent répondre aux besoins azotés des plantes en réduisant les impacts de la fertilisation et de la gestion des eaux usées***

- 1) Introduction
- 2) Quels traitements possibles de l'urine ?
- 3) Quelle volatilisation ammoniacale associée à leur apport ?
- 4) Quelle efficacité fertilisante des urinofertilisants?
- 5) Quels impacts environnementaux des filières de valorisation ?
- 6) Quelle contamination (médicaments, pathogènes...) ?
- 7) Conclusion

➤ Volatilisation ammoniacale des urinofertilisants

- Comparaison de différents produits en conditions contrôlées :
 - Fertilisants alcalins ont une forte volatilisation
 - Acidification limite la volatilisation
 - Nitrification limite la volatilisation

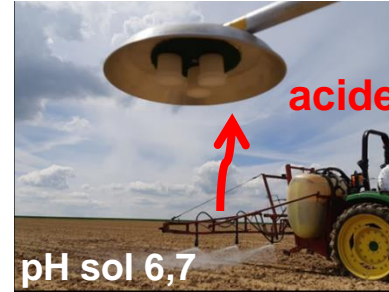


➤ Volatilisation ammoniacale des urinofertilisants

- Mesure de la volatilisation de l'urine stockée épandue en conditions favorables à la volatilisation ($T^\circ \dots$) :

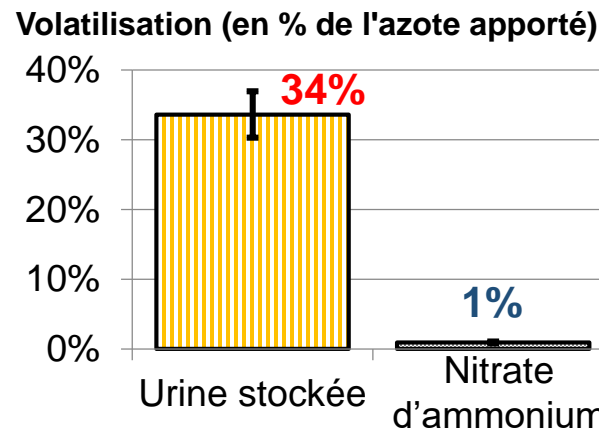
- Teneur en NH_4
- Intégration dans le temps
- Modélisation inverse FIDES

(Loubet et al., 2018)



Badges ALPHA
(Tang et al., 2011)

- Forte volatilisation en comparaison à l'ammonitrate



> Plan

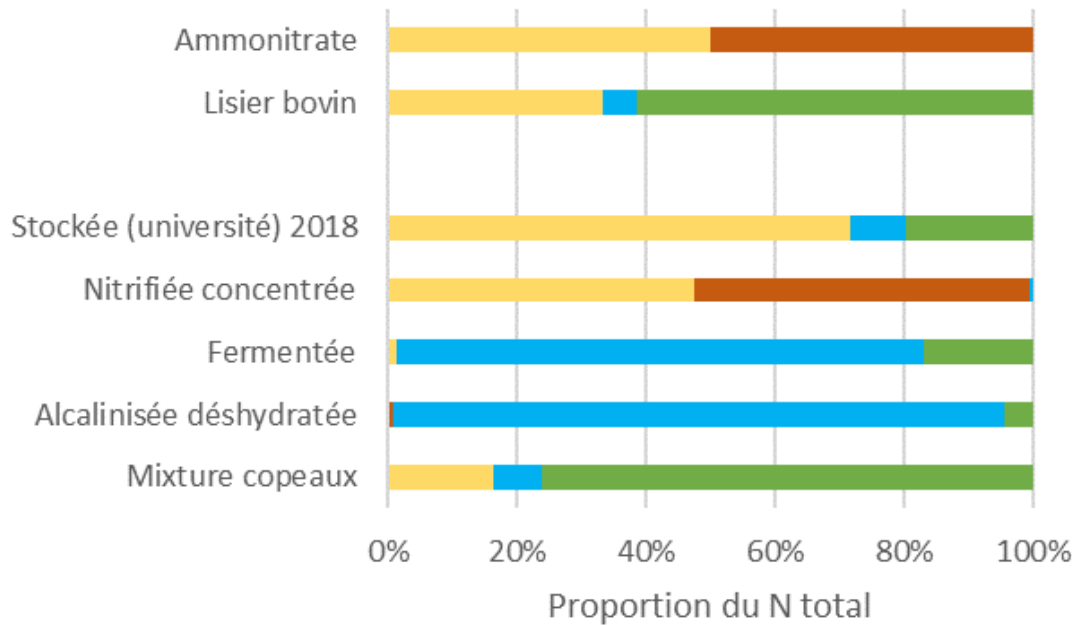
- ***En quoi les différents urinofertilisants peuvent répondre aux besoins azotés des plantes en réduisant les impacts de la fertilisation et de la gestion des eaux usées***

- 1) Introduction
- 2) Quels traitements possibles de l'urine ?
- 3) Quelle volatilisation ammoniacale associée à leur apport ?
- 4) Quelle efficacité fertilisante des urinofertilisants?
- 5) Quels impacts environnementaux des filières de valorisation ?
- 6) Quelle contamination (médicaments, pathogènes...) ?
- 7) Conclusion

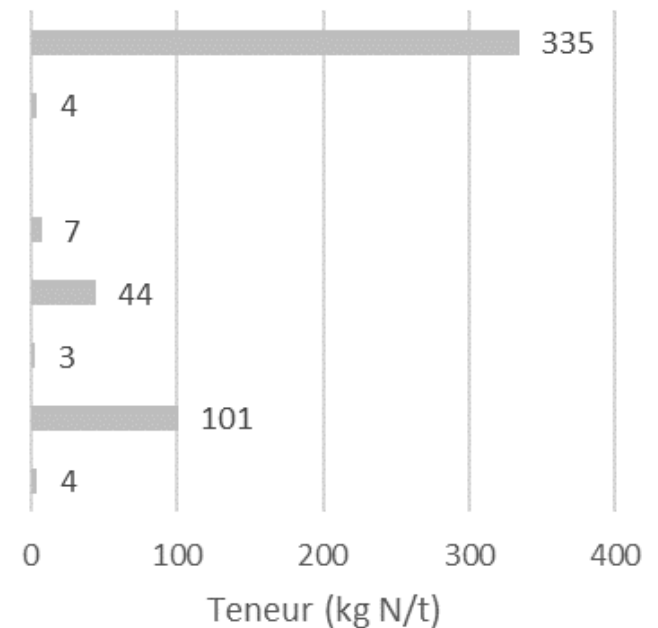
➤ Efficacité fertilisante N des urinofertilisants

- Variabilité des teneurs et des formes de l'azote entre urinofertilisants
- Questionnement sur leur efficacité fertilisante N → mise en place d'essais classiques en serre et au champ pour mesurer le coefficient d'équivalence engrais

Forme de l'azote



Teneur en azote



Ammoniacal Nitrique Uréique Organique



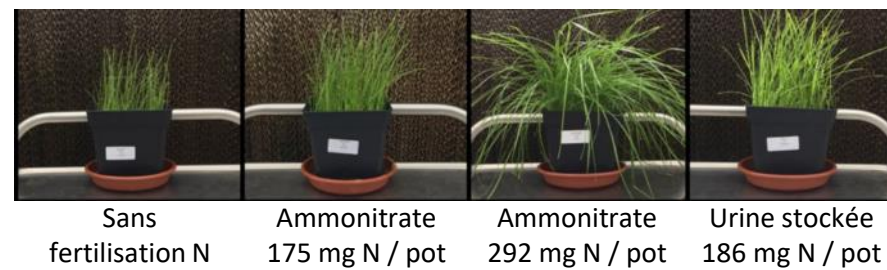
INRAE

Urine en agriculture
24/03/2022 –Martin et al.

Efficacité fertilisante N des urinofertilisants

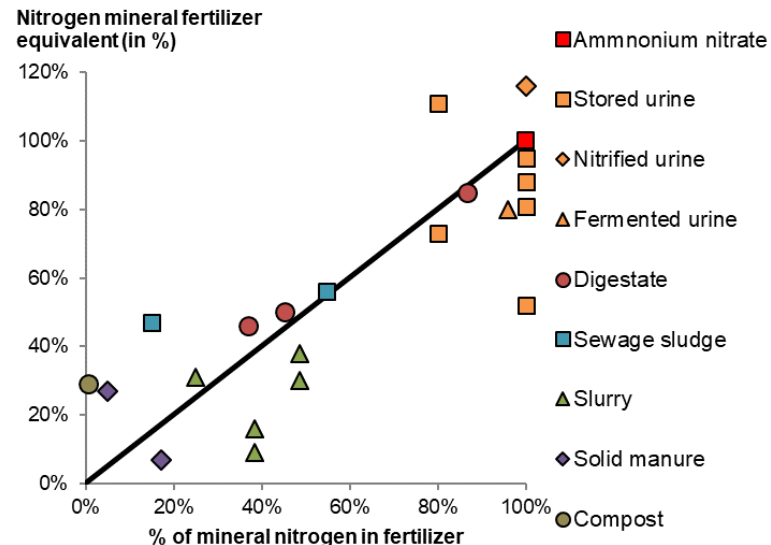
Résultats en serre :

- Des KEQ N proches de 100 %
- Tendance à plus faible KEQ pour urinofertilisants alcalinisés (+ volatilisation ?) et fermentés (organisation N après apport ?), significativement + faible pour mixture urine / copeaux (organisation N avant apport)



Résultats au champ :

- Des KEQ au champ élevés en comparaison aux autres fertilisants organiques, généralement > 70 % (hormis un essai colza)
- KEQ N bien expliqué par la proportion de N sous forme minérale, mais réduction possible suite à volatilisation (urine stockée) ?



➤ Fertiliser avec des urinofertilisants

- Bonne efficacité fertilisante
 - Mais des quantités à épandre importantes (pour 100 kg N/ha) : de 15 à 25 m³/ha pour l'urine stockée
 - Efficacité sous conditions de limiter la volatilisation
- Besoin d'adapter le matériel et les périodes d'apport pour ne pas dégrader le sol et limiter la volatilisation
- Intérêt du traitement de l'urine : acidification ou nitrification (↘ volat) et concentration (↘ charge)

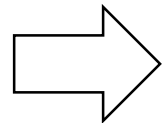
Tonne à lisier et buse palette



www.ontariopork.on.ca

Offre en agriculture

24/03/2022 –Martin et al.



Epandeur à pendillard sans tonne sur culture



www.bioenergie-promotion.fr

Enfouisseur sur chaumes



www.web-agri.fr

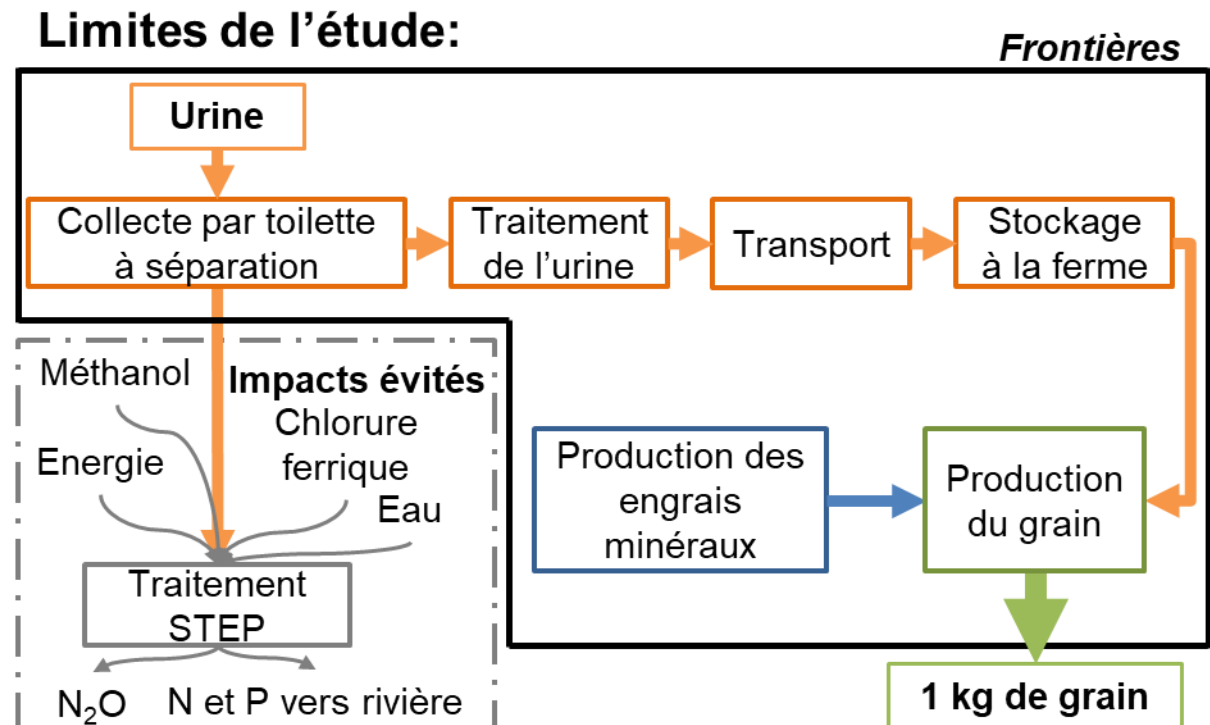
> Plan

- ***En quoi les différents urinofertilisants peuvent répondre aux besoins azotés des plantes en réduisant les impacts de la fertilisation et de la gestion des eaux usées***

- 1) Introduction
- 2) Quels traitements possibles de l'urine ?
- 3) Quelle volatilisation ammoniacale associée à leur apport ?
- 4) Quelle efficacité fertilisante des urinofertilisants?
- 5) Quels impacts environnementaux des filières de valorisation ?
- 6) Quelle contamination (médicaments, pathogènes...) ?
- 7) Conclusion

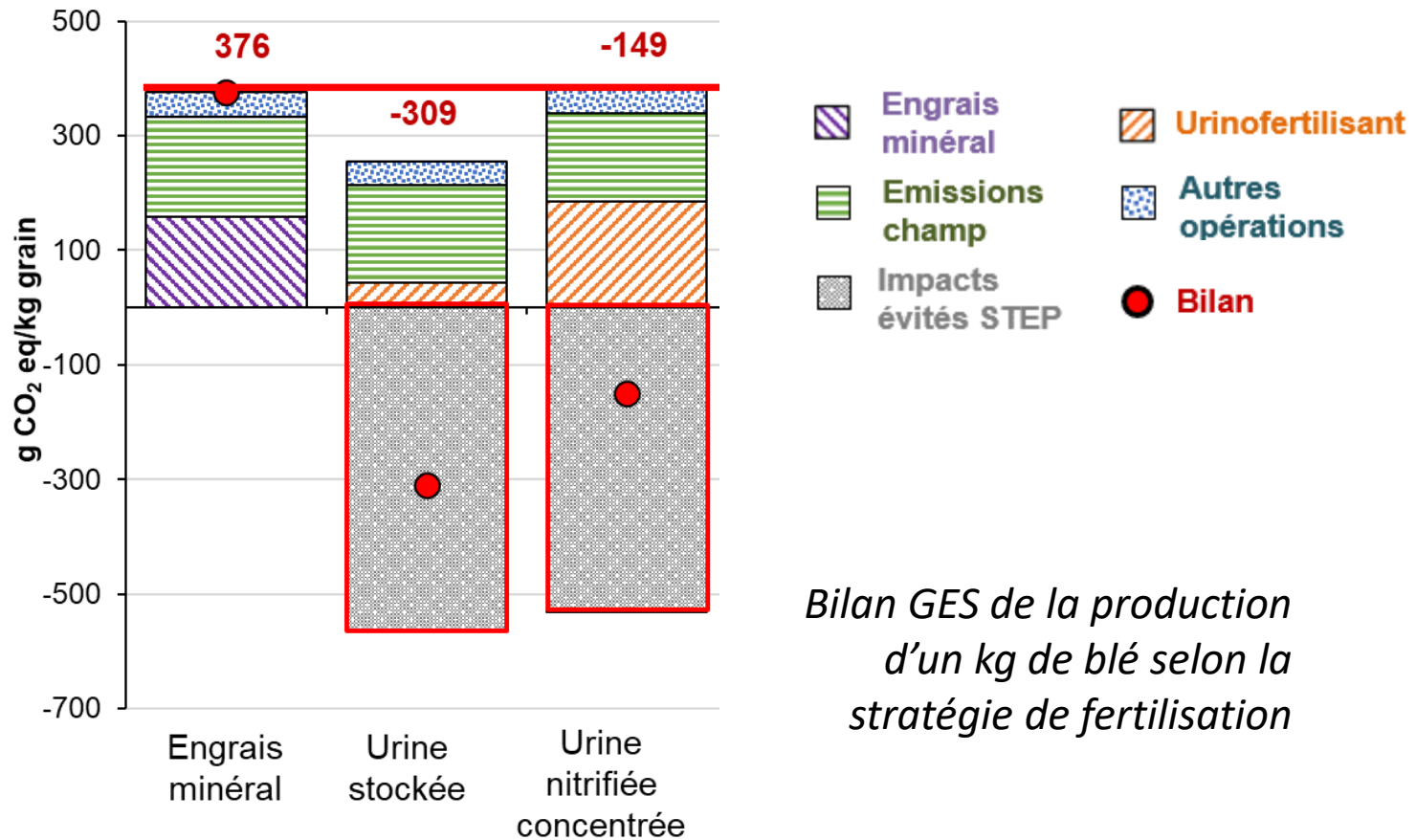
➤ Bilan environnemental

- Comparaison des filières de valorisation des urinofertilisants aux pratiques actuelles
- Méthode : analyse du cycle de vie
- Unité fonctionnelle : production d'un kilogramme de blé en IDF (180 kg N efficace / ha)



➤ Bilan environnemental : exemple du bilan GES

- Forte amélioration du bilan GES de la production agricole :
 - Moindres émissions liées à la production des engrais
 - Emissions GES évitées en STEP
 - Même avec traitement et/ou transport sur longue distance



➤ Bilan environnemental

- Des bénéfices environnementaux
- Energie et volatilisation → Points de vigilance
- Des questions non abordées dans le bilan (contaminations par les résidus médicamenteux...)

- : impact < 0

+ : impact modéré

++ : impact élevé

+++ : impact très élevé

Filière	Utilisation énergie	Changement climatique	Particules fines	Eutrophisation	Acidification	Épuisement ressource eau	Épuisement ressource min, fossiles, renouvelable
Engrais minéral	+	+	++	+	++	+	++
Urine stockée	-	-	++	-	++	-	+
Urine nitrifiée concentrée	++	-	+	-	+	-	+
Urine alcalinisée déshydratée	+++	-	+++	-	+++	-	++

> Plan

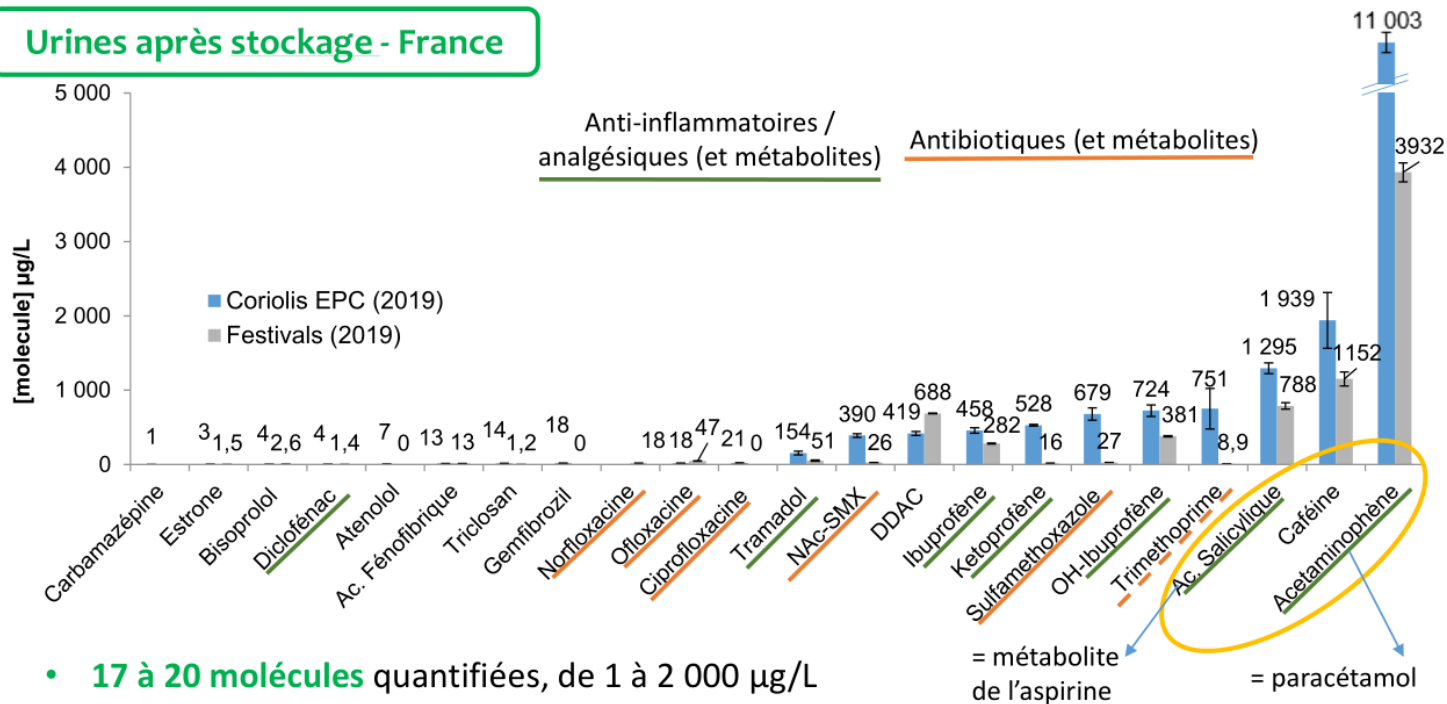
- ***En quoi les différents urinofertilisants peuvent répondre aux besoins azotés des plantes en réduisant les impacts de la fertilisation et de la gestion des eaux usées***

- 1) Introduction
- 2) Quels traitements possibles de l'urine ?
- 3) Quelle volatilisation ammoniacale associée à leur apport ?
- 4) Quelle efficacité fertilisante des urinofertilisants?
- 5) Quels impacts environnementaux des filières de valorisation ?
- 6) Quelle contamination (médicaments, pathogènes...) ?
- 7) Conclusion

➤ Résidus médicamenteux

- Diverses molécules retrouvées
- Passage sur charbon actif efficace
- Seulement quelques molécules retrouvées à faible concentration dans les sols à court ou long terme (20 ans d'apport au Danemark)
- Faible risque d'accumulation a priori : dissipation dans les sols

Urines après stockage - France



Deschamps et al. (2022)

- 17 à 20 molécules quantifiées, de 1 à 2 000 µg/L

- Pathogène
 - Présence de certains indicateurs (Entérocoques fécaux; *C. perfringens*), mais faibles teneurs / lisier
 - Prévalence la plus importante dans l'urine stockée de festival
- Antibiorésistance :
 - Présence des gènes d'antibiorésistance classiques dans tous les produits (même ordre de grandeur que lisier)
 - Gènes les plus à risque absents des produits traités (nitrifiés, déshydratés, fermentés)

> Plan

- ***En quoi les différents urinofertilisants peuvent répondre aux besoins azotés des plantes en réduisant les impacts de la fertilisation et de la gestion des eaux usées***

- 1) Introduction
- 2) Quels traitements possibles de l'urine ?
- 3) Quelle volatilisation ammoniacale associée à leur apport ?
- 4) Quelle efficacité fertilisante des urinofertilisants?
- 5) Quels impacts environnementaux des filières de valorisation ?
- 6) Quelle contamination (médicaments, pathogènes...) ?
- 7) Conclusion



> Conclusion

- Fort potentiel en termes de gisement
 - Des possibilités de collecte à la source, avec une problématique de son développement (non abordée dans Agrocapi)
 - Diversité de traitements possibles pour une diversité d'urinofertilisants
 - Forte efficacité fertilisante N
 - Fort intérêt environnemental : réduction GES et eutrophisation
 - Point d'attention sur volatilisation et consommation d'énergie
 - Sujet micropolluants à creuser
-
- Questions de logistique
 - Appropriation de la pratique (agriculteurs, consommateurs....)
 - Modèle économique ?



➤ Merci de votre attention

- Martin, Tristan, 2020. L'urine humaine en agriculture : des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable ». Thèse de doctorat de l'Université Paris Saclay, 2020. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03189185>.
- Restitution du projet Agrocapi : <https://www.leesu.fr/ocapi/les-projets/agrocapi/colloque-de-cloture/>

Projet Agrocapi



Une partie des résultats présentés a été acquise dans les projets PSDR PROLEG et Leader Saclay



INRAE

Urine en agriculture
24/03/2022 –Martin et al.