



INRAE
au sia
les rencontres

Gestion des produits résiduaux organiques et économie circulaire à l'échelle territoriale

Florent Levavasseur, Sabine Houot
INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, Palaiseau, France

Mardi 27 février 2024

INRAE X SIA2024





Les produits résiduels organiques (PRO)

- Produits résiduels organiques (PRO) : effluents d'élevage, composts urbains, boues d'épuration...
- Nombreux effets positifs documentés sur la fertilité du sol, mais des impacts à limiter : contaminations du sol, pertes d'azote, émissions de GES...



Web-agri

Fumier bovin



Compost de déchets verts



SMRA 68

Boue urbaine



Fientes séchées



© INRAE

Digestat



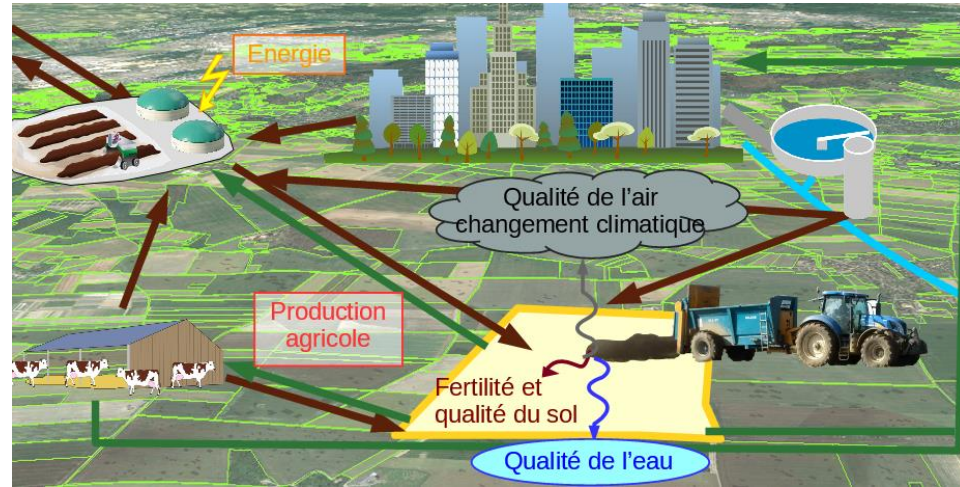
www.agribat-concept.com

Lisier



Questionnement à l'échelle territoriale ?

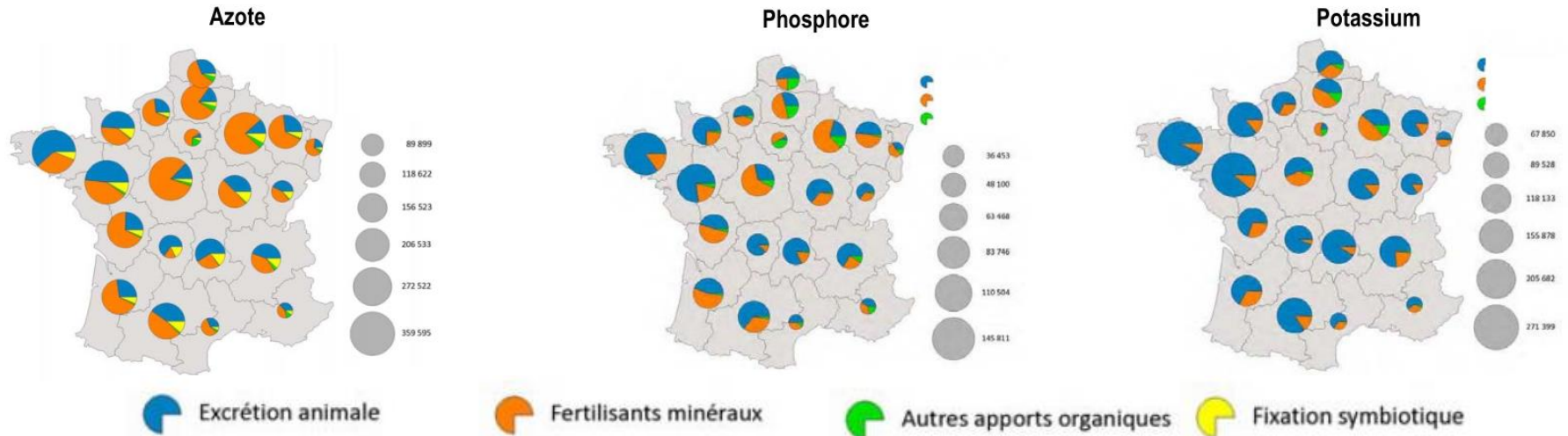
- Que représentent les flux de PRO par rapport aux besoins de l'agriculture en nutriments ? En termes d'entretien de la matière organique des sols ?
- Quels effets des PRO en fonction des sols, des pratiques, des traitements... ?
- Quel traitement des PRO implanter et où ?
- Quelles pratiques agricoles à l'heure actuelle ? Quelles perceptions des agriculteurs ?





Contribution actuelle des PRO aux apports de nutriments

- 39% N, 70% P et 82% K proviennent d'apports organiques, principalement des effluents d'élevage (restitution à la pâture incluse)
- Seulement 2% N, 5% P et 3% du K proviennent des PRO hors élevage *(Houot et al., 2014)*
- Forte variabilité des contributions des PRO d'élevage / urbains entre territoires

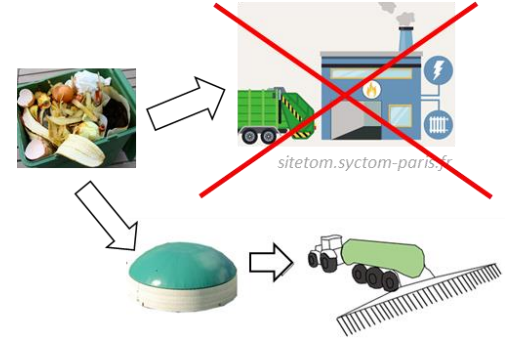




Contribution des PRO : quel potentiel additionnel ?

1er janvier 2024 : obligation du tri à la source des biodéchets

- Priorité à la prévention des déchets et au compostage de proximité :
gisement additionnel de compost & digestat limité (*Launay et al., 2021*)
- Potentiel en zones périurbaines (*Moinard et al., 2021*)

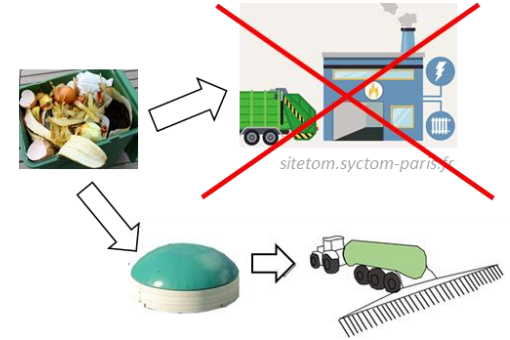




Contribution des PRO : quel potentiel additionnel ?

1er janvier 2024 : obligation du tri à la source des biodéchets

- Priorité à la prévention des déchets et au compostage de proximité :
gisement additionnel de compost & digestat limité (*Launay et al., 2021*)
- Potentiel en zones périurbaines (*Moinard et al., 2021*)



Collecte sélective des urines humaines à la source

- Recyclage agricole des urines couvrirait 140% des besoins en N en
Île-de-France, 20% à l'échelle mondiale (*Martin, 2020*)
- Système actuel (sans collecte) : 10% seulement du N recyclé via les
boues d'épuration (*Stark et al., 2024*)
- Bilan environnemental favorable (*Martin, 2020*), mais de nombreux
verrous à lever





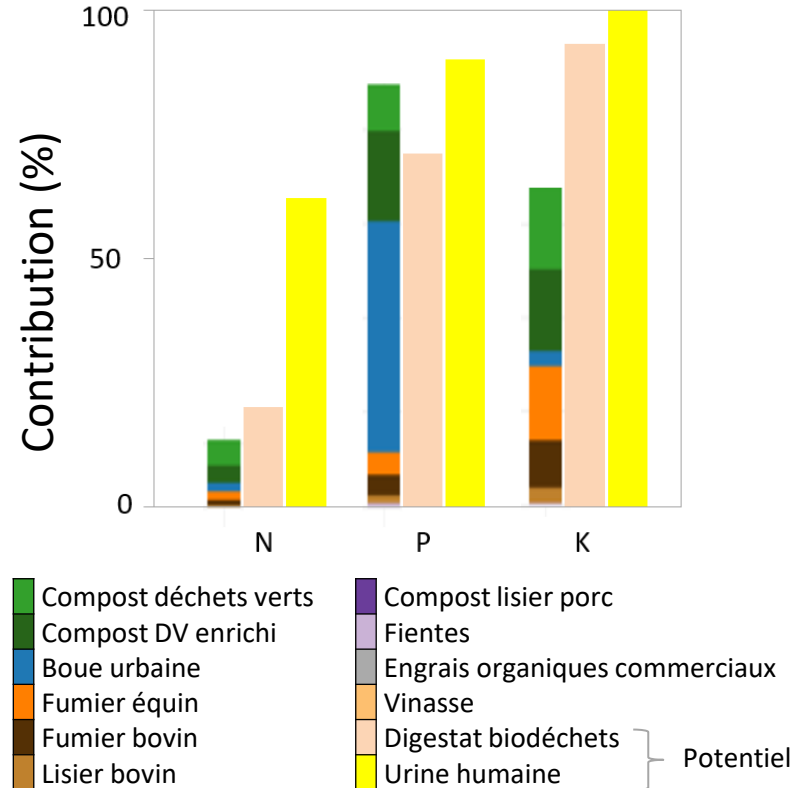
Des potentiels localement plus importants

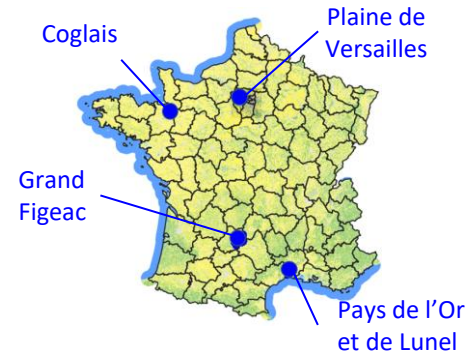
Plaine de Versailles : 11 000 ha à proximité de Paris



- Contribution potentielle mineure aux besoins en N du territoire, mais importante en P et K
- Des potentiels additionnels identifiés (méthanisation de biodéchets, urine)

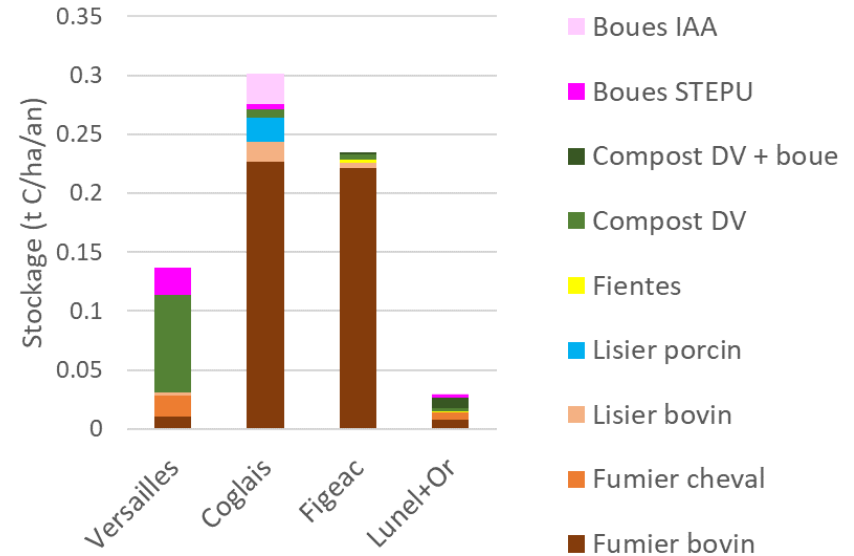
Contribution des PRO produits en plaine de Versailles aux besoins en fertilisants (adapté de Moinard et al., 2021)





Contribution des PRO au stockage de carbone

- Différences d'origine et de quantité des PRO selon la proximité de la ville et l'importance de l'élevage → différences de stockage potentiel entre territoires (*Berger et al., 2022*)
- Stockage actuel proche ou > 4 ‰ ($\approx 0.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) sur tous les territoires (en moyenne sur SAU totale) sauf Pays de Lunel
- PRO déjà valorisés → pas un stockage additionnel, mais existant important à maintenir



Stockage de C par les PRO sur les 4 territoires

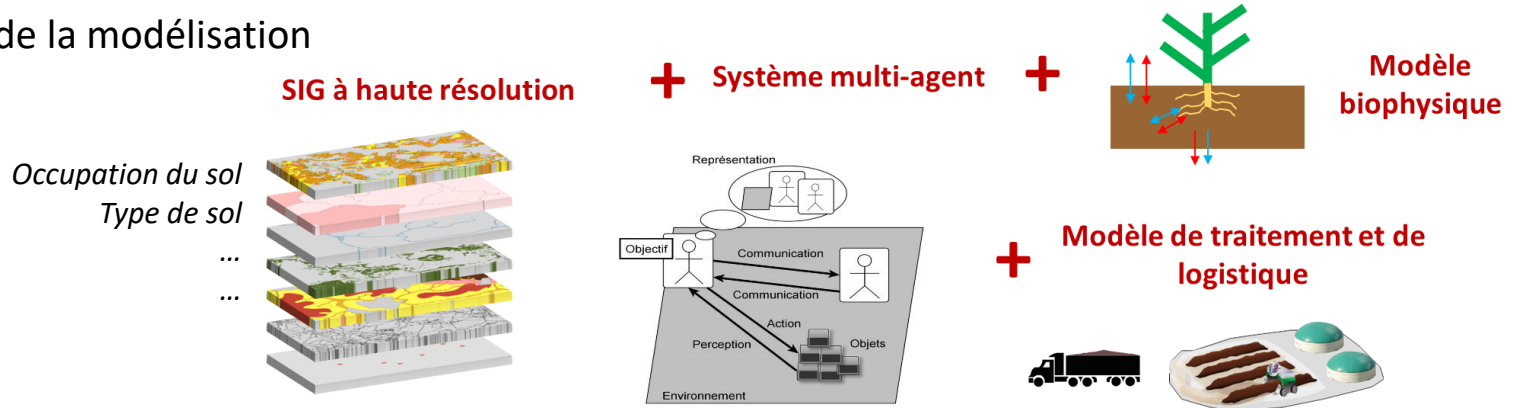
(*Berger et al., 2022*)



La modélisation pour aider à la gestion territoriale des PRO

- Impossibilité de mesurer tous les flux à l'échelle ferme / territoire
- Difficulté de tester des scénarios de pratique / traitement des PRO
- Prise en compte explicite de la variabilité spatiale du territoire (sols...)
- Prise en compte des règles de décisions des acteurs du territoire et des interactions entre acteurs

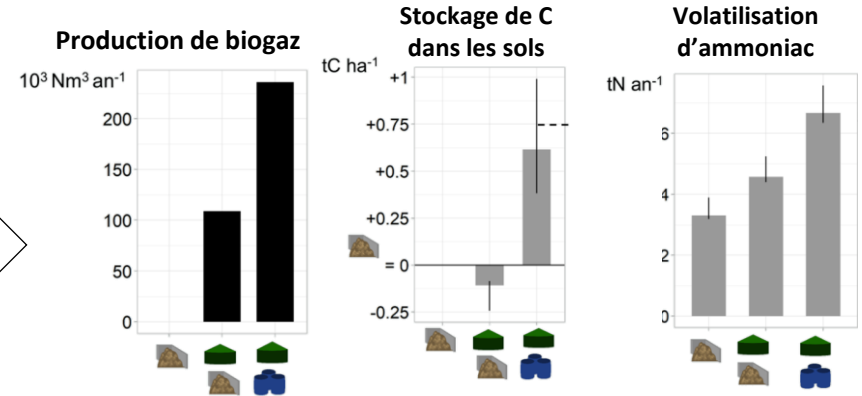
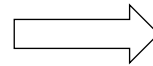
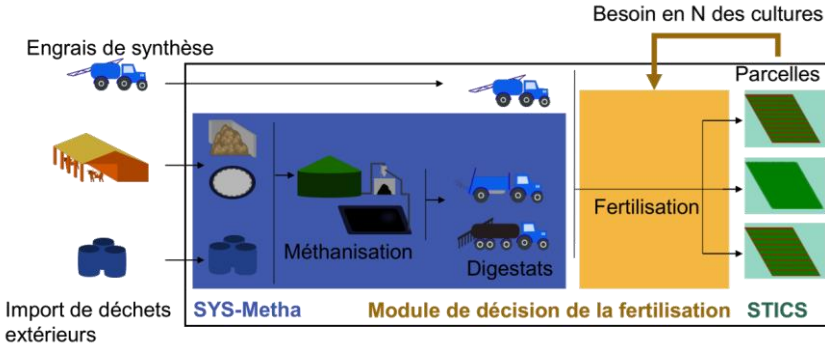
→ Intérêt de la modélisation





Un exemple de modélisation territoriale de gestion des PRO

Insertion d'un méthaniseur à l'échelle d'une ferme (Moinard, 2021)



Chainage du modèle de méthanisation SYS-Metha, de règles de décision et du modèle sol-culture STICS

Résultats moyens simulés à l'échelle ferme

- Fumier / lisier bruts
- Fumier / lisier méthanisés
- Fumier / lisier méthanisés + déchets organiques importés
- (Scenario 4)

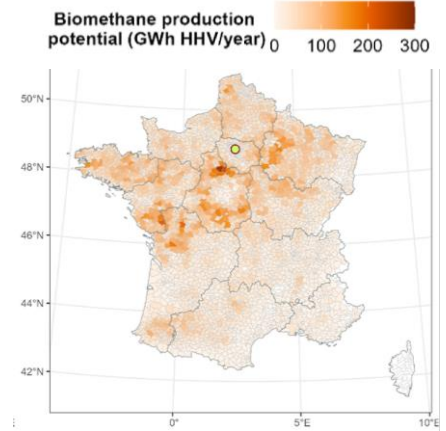


Où implanter une unité de traitement de déchets ?

Exemple de la méthanisation

- Forte variabilité spatiale des gisements méthanisables à l'échelle nationale
(Malet et al., 2023)

*Potentiel de production
de biométhane par
canton en généralisant
les couverts végétaux
(adapté de Malet et al.,
2023)*





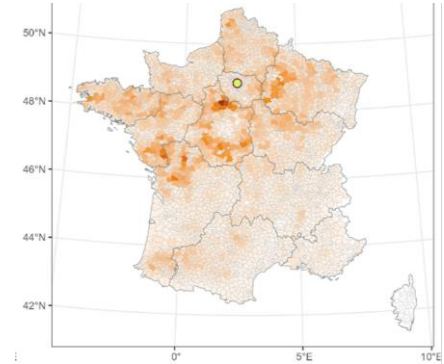
Où implanter une unité de traitement de déchets ?

Exemple de la méthanisation

- Forte variabilité spatiale des gisements méthanisables à l'échelle nationale
(Malet et al., 2023)
- Disponibilité des gisements n'est pas l'unique critère à considérer : besoin local d'énergie, surfaces épandables, gêne occasionnée (odeurs, transports...) *(Franco et al., 2015)*

Potentiel de production de biométhane par canton en généralisant les couverts végétaux (adapté de Malet et al., 2023)

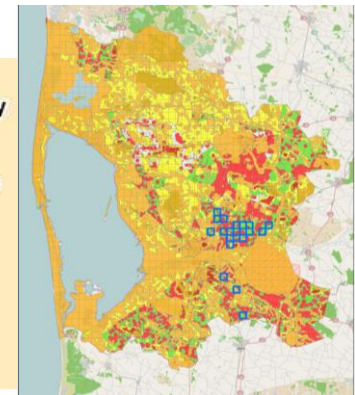
Biométhane production potential (GWh HHV/year) 0 100 200 300



Approche multicritère pour déterminer la meilleure localisation de méthaniseurs (Franco et al. 2015)

GAF alternatives and Planning zone suitability

- Alternatives
- Most suitable alternatives
- Planning zones
 - Suitable
 - Assessment
 - Ambiguity
 - Restricted





Quelles pratiques de valorisation des PRO par les agriculteurs ?

- Besoin de connaître les pratiques agricoles pour diagnostiquer les territoires / alimenter les modèles
 - Peu de données centralisées accessibles, enquêtes longues et fastidieuses
- Quel potentiel de la télédétection pour le suivi des épandages de PRO sur un territoire ?

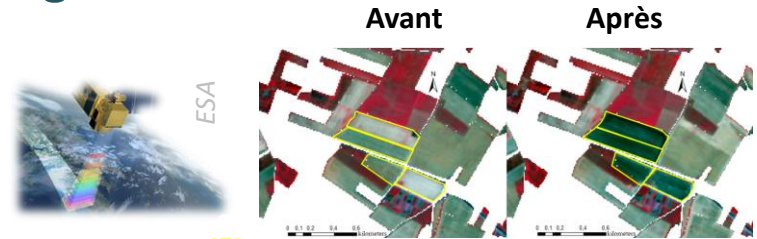


Quelles pratiques de valorisation des PRO par les agriculteurs ?

- Besoin de connaître les pratiques agricoles pour diagnostiquer les territoires / alimenter les modèles
- Peu de données centralisées accessibles, enquêtes longues et fastidieuses

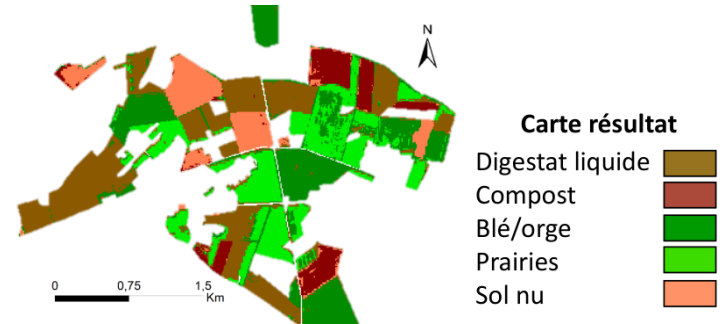
→ Quel potentiel de la télédétection pour le suivi des épandages de PRO sur un territoire ?

- Suivi satellitaire des épandages envisageables malgré des limites (enfouissement, nébulosité...) (Dodin, 2023)



Parcelles épandues

Suivi de la réflectance du sol par satellite



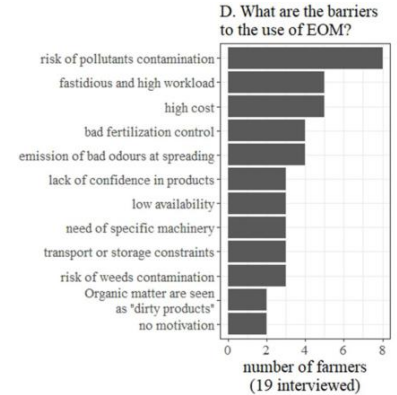
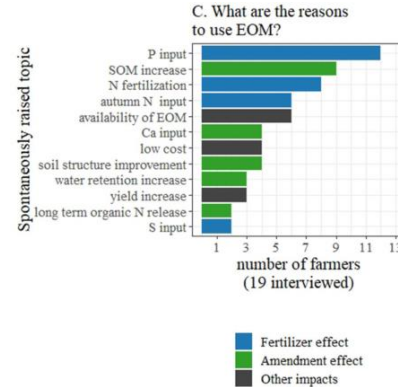
Cartographie des épandages par satellite sur une exploitation agricole



Quels objectifs et perceptions des agriculteurs vis-à-vis des PRO ?

(Moinard et al., 2021)

- Diversité des raisons d'usage ou non des PRO par les agriculteurs (Moinard et al., 2021)





Quels objectifs et perceptions des agriculteurs vis-à-vis des PRO ?

(Moinard et al., 2021)

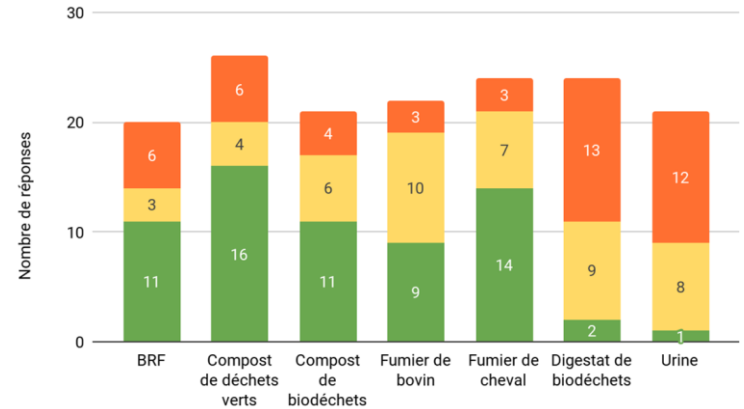
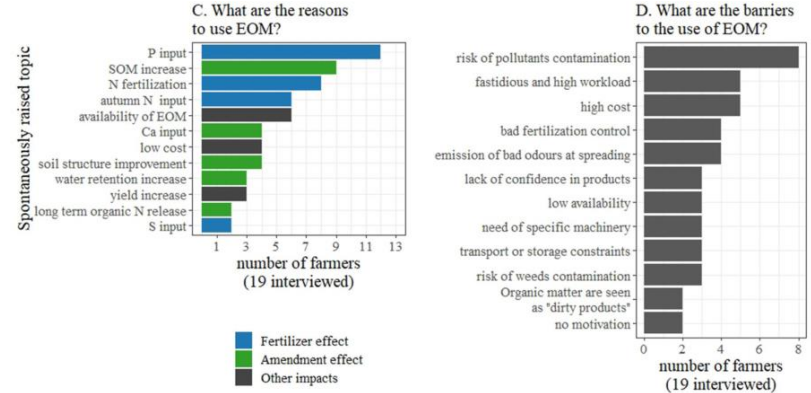
- Diversité des raisons d'usage ou non des PRO par les agriculteurs (Moinard et al., 2021)
- « Nouveaux » PRO à fort potentiel fertilisant a priori peu acceptés à l'heure actuelle dans des systèmes maraîchers (Boros et al., 2022)

Seriez-vous prêt à utiliser ce PRO sur vos parcelles maraîchères et/ou arboricoles ?

Non Oui sous conditions Oui

(adapté de Boros et al., 2022)

- Éléments à considérer pour co-coconcevoir des filières pérennes de gestion des PRO aux échelles territoriales





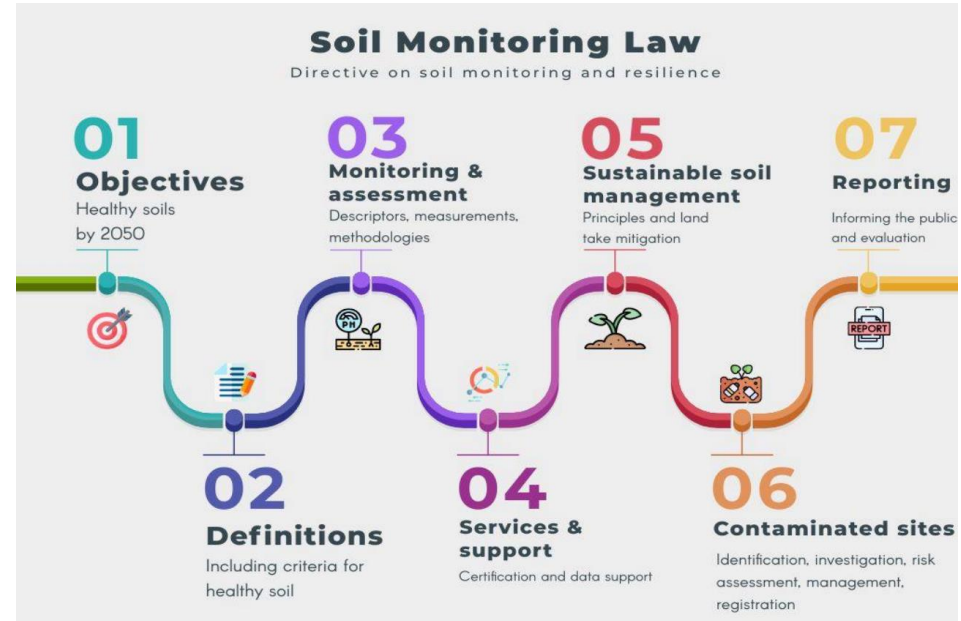
Quelles opportunités de la directive cadre sur les sols pour la gestion des PRO ?

2) Définition de critères objectifs de santé des sols recevant des PRO ? Balance bénéfiques agronomiques / contaminants ?

3) Suivi sur le long terme et à large échelle des sols recevant des PRO ?

5) Epannage de PRO dans les pratiques de gestion durable ?

6) Gestion des sols contaminés, notamment pour les sols historiquement épannés avec des PRO contaminés ?





Conclusion

- Nécessité du recyclage agricole pour le bouclage des cycles (C, N, P...)
- Gestion des PRO doit être envisagée à l'échelle territoriale : variabilité des sols, des PRO, des systèmes de culture, des acteurs...
- Potentiel des PRO en termes de fourniture de nutriments et de stockage de C très variable selon les territoires (ressource et type de PRO, traitements, sols...)
- Intérêt de la modélisation biophysique pour estimer + finement les effets du retour au sol des PRO et leur variabilité selon les scénarios → Quelle opérationnalité en dehors de la recherche ?
- Difficulté de documenter les spécificités de chaque territoire : potentiel de la télédétection ?
- Objectifs des acteurs des territoires à considérer pour pérenniser la gestion des PRO → filières optimisées à co-concevoir



Merci
pour votre attention



Bibliographie

- Berger, S., Sicard, L., Levvasseur, F., & Houot, S. (2022). Contribution des Produits Résiduaire Organiques à la séquestration du carbone dans les sols (p. 73). RECORD. <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/6152-contribution-des-produits-residuaire-organiques-a-la-sequestration-du-carbone-dans-les-sols.html>
- Boros, L., Levvasseur, F., Kebalo, L. F., Bijon, N., & Morel, K. (2022). Recycling local organic waste in peri-urban horticulture : A case-study in the Parisian region. Acta Horticulturae, 1356, Article 1356. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1356.37>
- Dodin, M. (2023). Télédétection des épandages de produits résiduaire organiques : Contribution des séries Sentinel-2 et 1 [These de doctorat, université Paris-Saclay]. <https://www.theses.fr/2023UPASB064>
- Franco, C., Bojesen, M., Hougaard, J. L., & Nielsen, K. (2015). A fuzzy approach to a multiple criteria and Geographical Information System for decision support on suitable locations for biogas plants. Applied Energy, 140, 304-315. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.060>
- Houot, S., Pons, M. N., & Pradel, M. (2014). Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Rapport final de l'expertise scientifique collective.
- Launay, C., Constantin, J., Chlebowski, F., Houot, S., Graux, A.-I., Klumpp, K., Martin, R., Mary, B., Pellerin, S., & Therond, O. (2021). Estimating the carbon storage potential and greenhouse gas emissions of French arable cropland using high-resolution modeling. Global Change Biology, 27(8), Article 8. <https://doi.org/10.1111/gcb.15512>
- Malet, N., Pellerin, S., & Nesme, T. (2023). Agricultural biomethane production in France : A spatially-explicit estimate. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 185, 113603. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113603>
- Martin, T. (2020). L'urine humaine en agriculture : Des filières variées pour contribuer à une fertilisation azotée durable [Theses, Université Paris Saclay]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03189185>
- Misslin, R., Clivot, H., Levvasseur, F., Villerd, J., Soulié, J.-C., Houot, S., & Therond, O. (2022). Integrated assessment and modeling of regional recycling of organic waste. Journal of Cleaner Production, 134725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134725>
- Moinard, V. (2021). Conséquences de l'introduction de la méthanisation dans une exploitation de polyculture-élevage sur les cycles du carbone et de l'azote. Combinaison de l'expérimentation et de la modélisation à l'échelle de la ferme [Phdthesis, Université Paris-Saclay]. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-03485490>
- Moinard, V., Levvasseur, F., & Houot, S. (2021). Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. Resources, Conservation and Recycling, 169, 105523. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105523>
- Starck, T., Fardet, T., & Esculier, F. (2024). Fate of nitrogen in French human excreta : Current waste and agronomic opportunities for the future. Science of The Total Environment, 912, 168978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168978>