

## PSDR PROLEG

# Développement d'un outil d'évaluation multicritère pour aider à la conception de systèmes de culture plus autonomes en azote

Florent Levavasseur<sup>1</sup> \*, Gentiane Maillet<sup>2</sup>,  
Raymond Reau<sup>2</sup>, Sabine Houot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, UMR ECOSYS

<sup>2</sup> NRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, UMR Agronomie

# Contexte

- Développement des engrais minéraux azotés a permis une forte augmentation de la productivité agricole au XX<sup>ème</sup> siècle (Erisman et al., 2008), au prix d'une forte consommation énergétique non durable
- Engrais N = charges importantes pour les exploitations céréalières (Lecuyer et al. 2013)  
→ Intérêt de mobiliser des sources alternatives d'azote pour maintenir une bonne nutrition azotée tout en limitant les impacts de la fertilisation

- Produits résiduaux organiques (PRO) : issus de l'agriculture (effluents d'élevage), de l'agro-industries ou des villes (déchets verts/alimentaires, boues STEP...), bruts ou traités (compostage, méthanisation)



*Stock de PRO  
au champ*

- Légumineuses (LEG) : cultures autonome en N (fixation symbiotique), en cultures de rente, couverts d'interculture, associés...

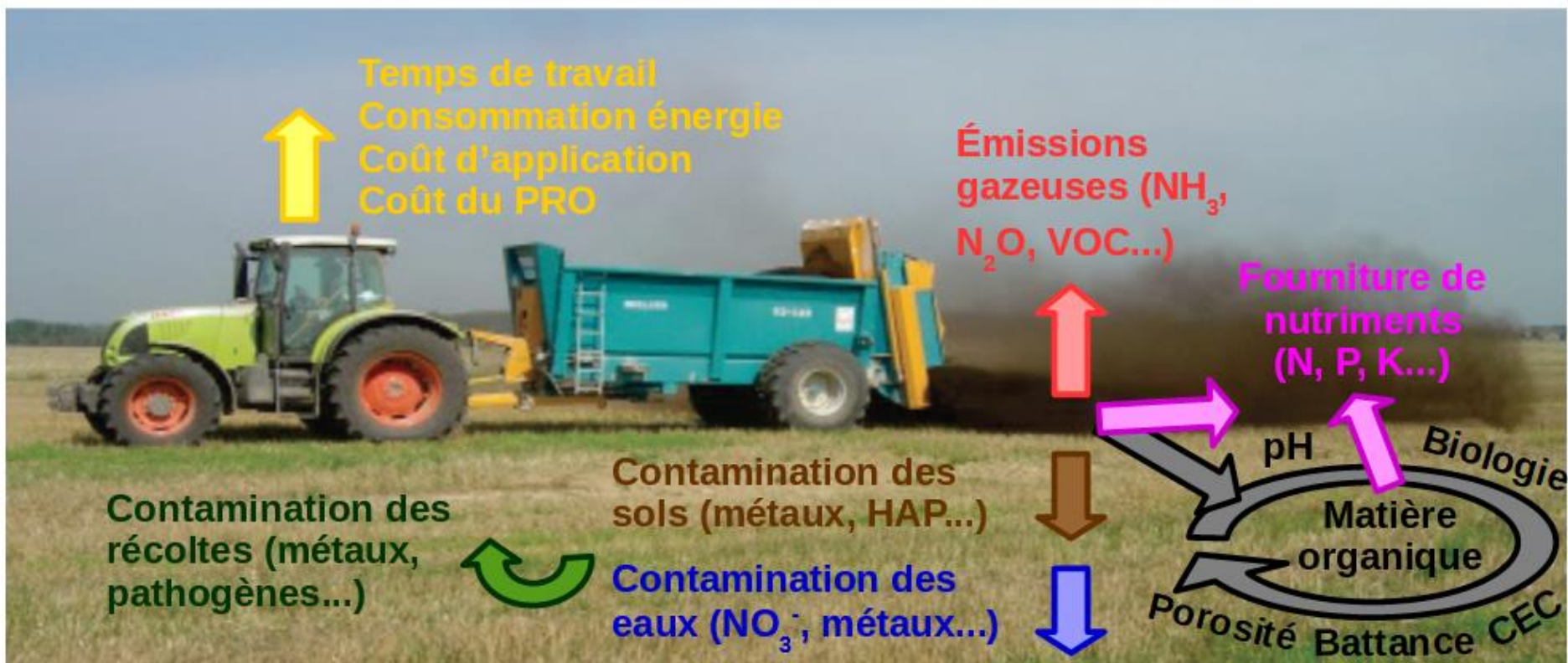


*Couverts avec  
légumineuses  
(Arvalis)*

- Fourniture N en lien avec les différentes insertions possibles dans les systèmes à mieux quantifier, ainsi que les autres effets potentiels

# Multiplés effets des PRO

- Multiple effets positifs du retour au sol des PRO (stockage de carbone, fourniture de nutriments) mais des impacts à limiter (contamination, émissions gazeuses...)
- Effets des PRO dépendent des caractéristiques des PRO, des systèmes de culture, du contexte pédoclimatique, etc.







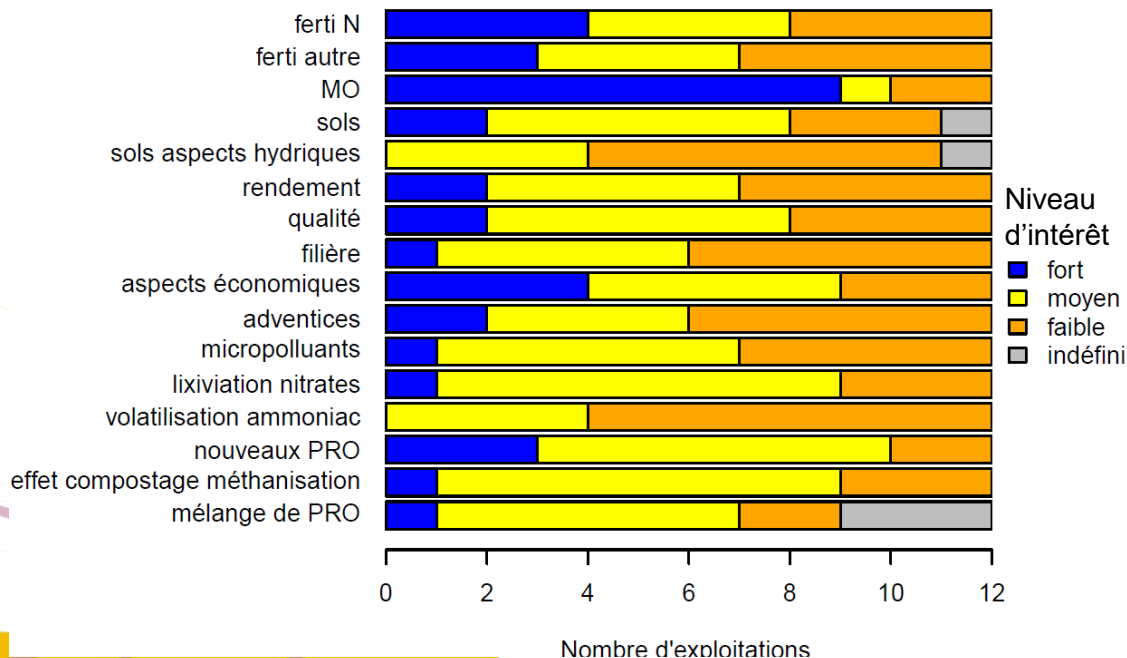
# Objectif

- Objectif PSDR PROLEG : co-concevoir avec les agriculteurs des systèmes de culture moins dépendants aux engrais N en optimisant le recyclage des PRO et l'insertion des légumineuses
  - en maximisant les effets positifs (stockage de C, fourniture de nutriments...)
  - en limitant les impacts (contamination du sol, émissions GES...)
  - en interaction avec les autres pratiques agricoles (travail du sol, rotation...)
- Besoin d'outils prédictifs multicritères pour guider cette co-conception
- Des outils multicritères existants (Indigo...) qui ne considèrent pas les spécificités des PRO et des légumineuses (et plus largement la fertilité des sols)

→ **Développement d'un nouvel outil d'évaluation multicritère pour aider à la conception de systèmes de culture moins dépendants aux engrais de synthèse et plus durables**

# Inventaire des effets à considérer

- Quels effets considérés prioritairement parmi les multiples effets des PRO et des LEG ?
- Enquête auprès d'agriculteurs :
  - PRO : diversité d'attentes +/- marquées, + fortes sur la matière organique des sols
  - LEG : intérêt + marqué sur couverts et cultures récoltées (peu sur associations), effet sur N, aspect économique des LEG.
- Enquête auprès de techniciens du secteur des PRO : tous les effets des PRO ressortent comme intéressants



*Extrait des résultats  
d'enquêtes auprès  
des agriculteurs de  
la plaine de  
Versailles*

# Conception de l'outil

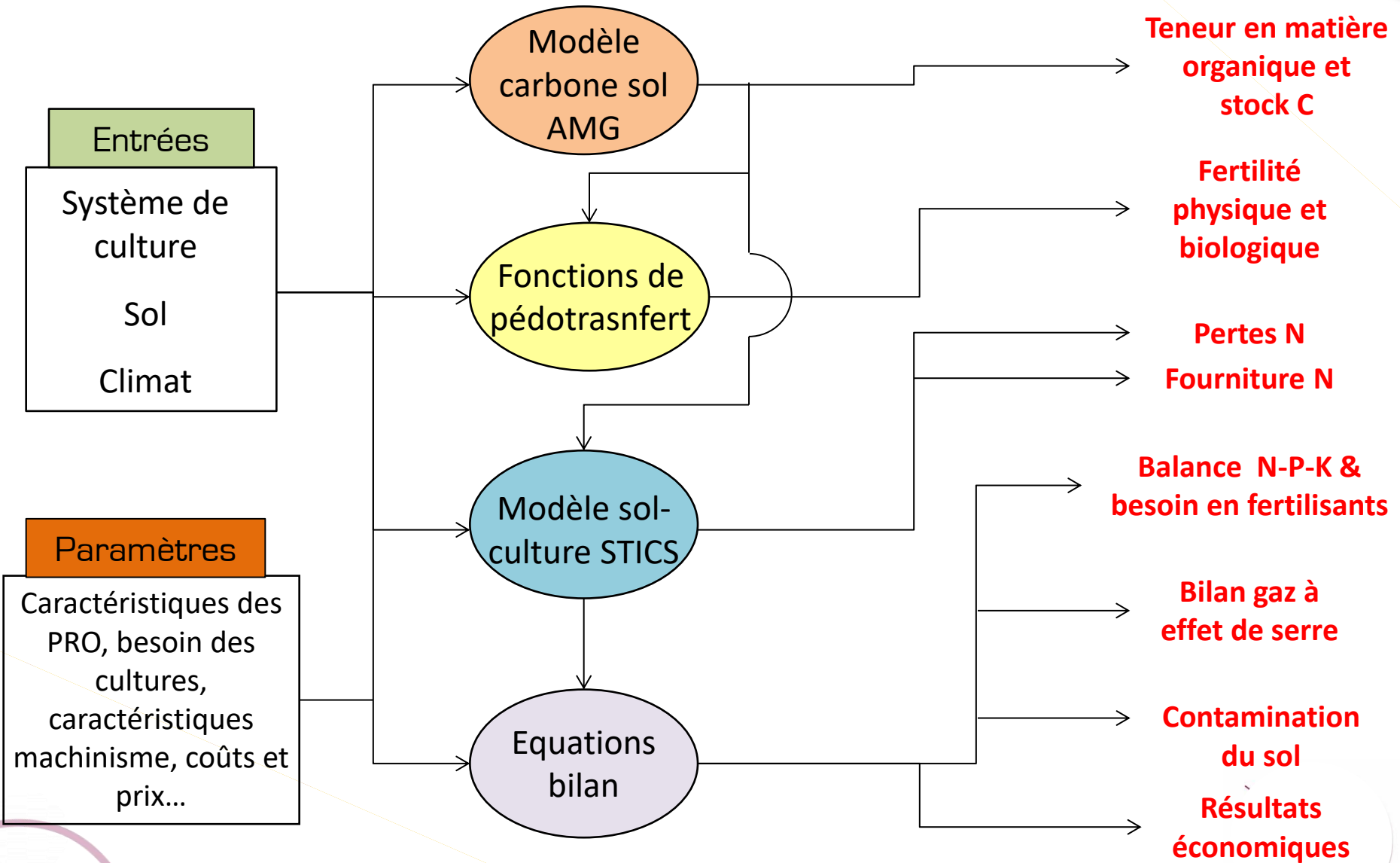
- Ne pas repartir de zéro : recherche des modèles et formalismes opérationnels et paramétrés pour les PRO et LEG permettant de prédire les différents effets identifiés
- Importance des questions liés à la matière organique du sol et à la dynamique de l'azote : choix de modèles utilisés et validés en interne
- Combinaison de ces modèles et formalismes entre eux
- Développement pour faciliter la prise en main de l'outil :
  - Interface d'entrée de saisie des systèmes sous Excel
  - Outil sous la forme d'un script R qui exécute les différents modèles et recodent certains formalismes
  - Lancement de l'outil avec 2 lignes de code R (exécution la + simple possible)
  - Sorties sous formes graphiques et de tableaux de résultats

# Contenu de l'outil

- Matière organique : AMG (*Levavasseur et al., 2020*) pour la simulation stock et teneur MO et C, entrée C (PRO, cultures, couverts), effets travail du sol (stratification)...
- Indicateur de fertilité des sols : battance (*Rémy et Laflèche, 1971*), réserve utile (*Rawls et al., 2003*), biomasse microbienne (*Horrigue et al., 2016*) + traçabilité, capacité d'infiltration, nématodes... à +/- court terme ?
- STICS (*Brisson et al., 2003*) : fournitures en N, pertes de N (lixiviation, volat,  $N_2O$ )
- Besoin N : équation bilan (*COMIFER, 2013*) avec fourniture N simulées par STICS, à différentes échéances temporelles pour considérer l'effet de la MO à long terme
- Bilan P et K : simple bilan apports (engrais, PRO) – exports (récolte) à la rotation
- Bilan GES : conso fioul (CRITER) + fabrication engrais (base Carbone Ademe) +  $N_2O$  au champ - stockage C
- Contamination du sol en métaux : respect de la réglementation en termes de flux d'entrée et de teneur du sol (arrêté boue 8 janvier 1998), à améliorer (toxicité / disponibilité...)
- Bilan économique : CRITER



# Schéma général de l'outil



# Utilisation de l'outil en atelier de co-conception

- Atelier de co-conception réunissant un groupe d'agriculteurs ayant des objectifs en termes de fertilité de leurs sols et des « experts »
- Déroulement des ateliers (un atelier par agriculteur)
  - Exposé des objectifs de l'agriculteur
  - Brainstorming pour identifier des leviers potentiels
  - Proposition de systèmes de culture pour répondre aux objectifs
  - **Evaluation multicritère des performances du système**
  - Retour vers l'agriculteur des résultats et ajustement potentiel des systèmes



*Rotation construite avec le jeu Ecophyt'eau*



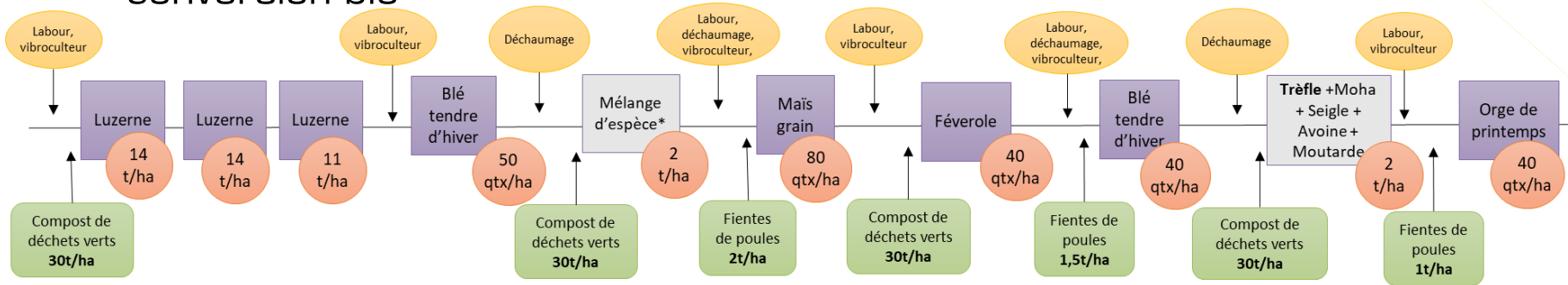
*Groupe au travail*

# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (1)

- Objectif atelier 1 : **2,5 % de matière organique dans le sol** (notamment pour limiter la battance) et « **autonomie N** » à long terme suite à conversion bio

# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (1)

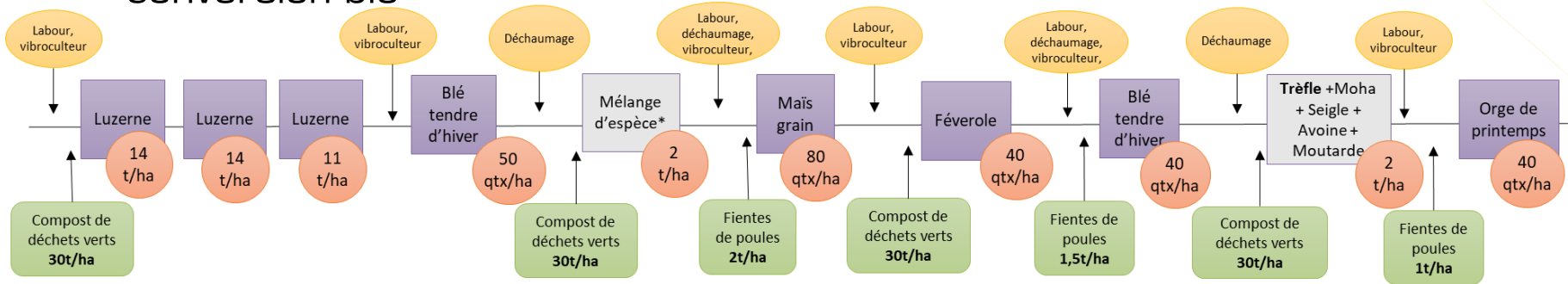
- Objectif atelier 1 : **2,5 % de matière organique dans le sol** (notamment pour limiter la battance) et « **autonomie N** » à long terme suite à conversion bio



*Système proposé (1<sup>ère</sup> rotation : 1-8 ans), puis suppression progressive des apports de fientes sur les rotations suivantes (9-16 ans, 17-24 ans)*

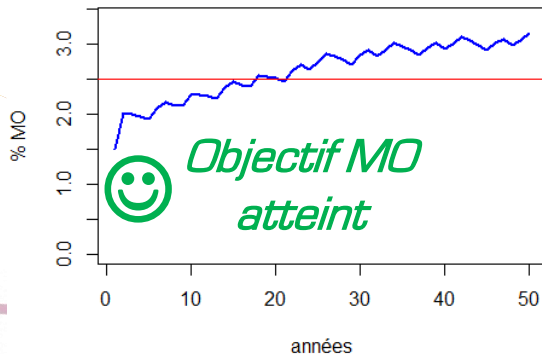
# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (1)

- Objectif atelier 1 : **2,5 % de matière organique dans le sol** (notamment pour limiter la battance) et « **autonomie N** » à long terme suite à conversion bio

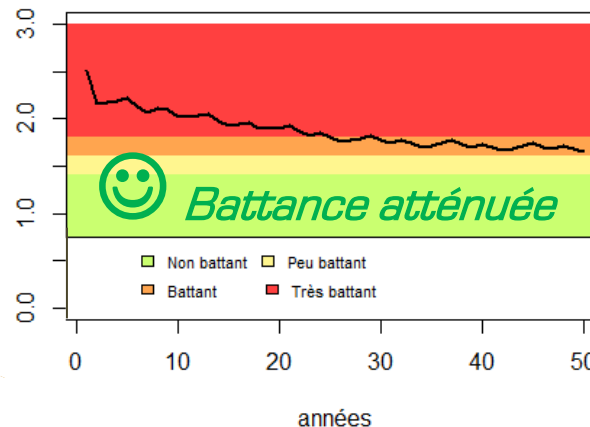


*Systeme proposé (1<sup>ère</sup> rotation : 1-8 ans), puis suppression progressive des apports de fientes sur les rotations suivantes (9-16 ans, 17-24 ans)*

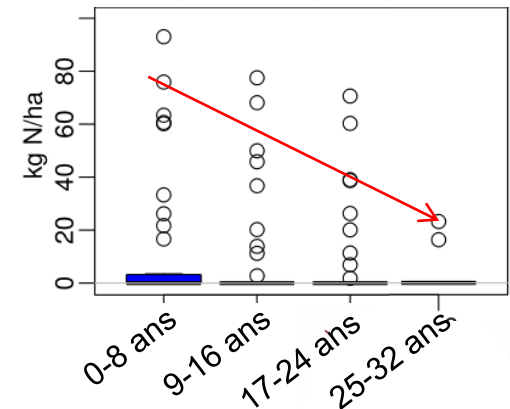
Teneur en matière organique



Indice de battance sur l'horizon travaillé



Besoin moyen en N minéral par culture principale



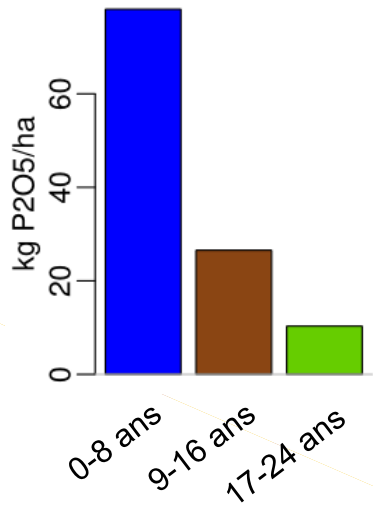
**Autonomie N ≈ atteinte en 25 ans**



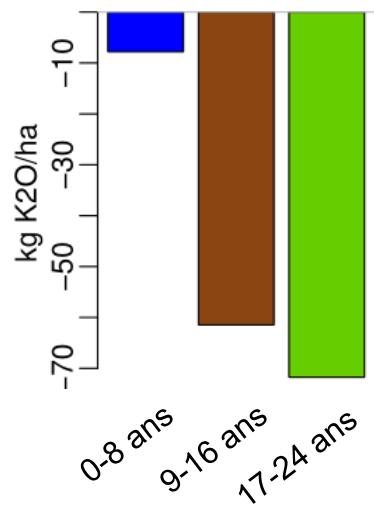
# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (1)

- Effets collatéraux, hors des objectifs de l'atelier mais évalués avec l'outil :
  - Surfertilisation P, sous-fertilisation K (luzerne)
  - Augmentation progressive de la marge
  - Augmentation des pertes d'azote (lixiviation nitrates...)
  - Légère augmentation des teneurs en métaux du sol
  - ...

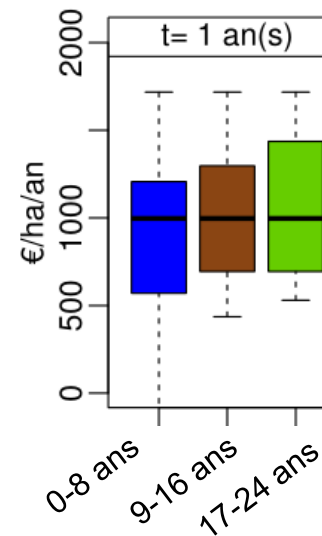
Bilan moyen annuel en P sur la rotation



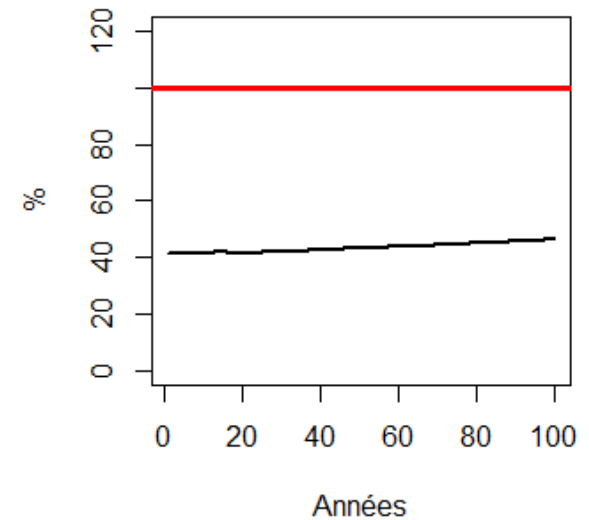
Bilan moyen annuel en K sur la rotation



Marge semi-nette annuelle



Teneur du sol en ETM le plus impactant par rapport à la réglementation boue



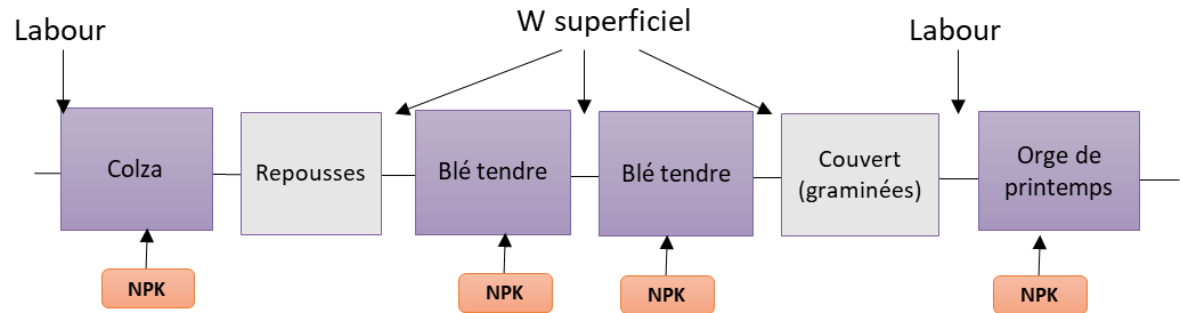
## Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

- Atelier 2 : **avoir un bilan GES nul** (objectif marketing pour la vente d'huile de colza) :

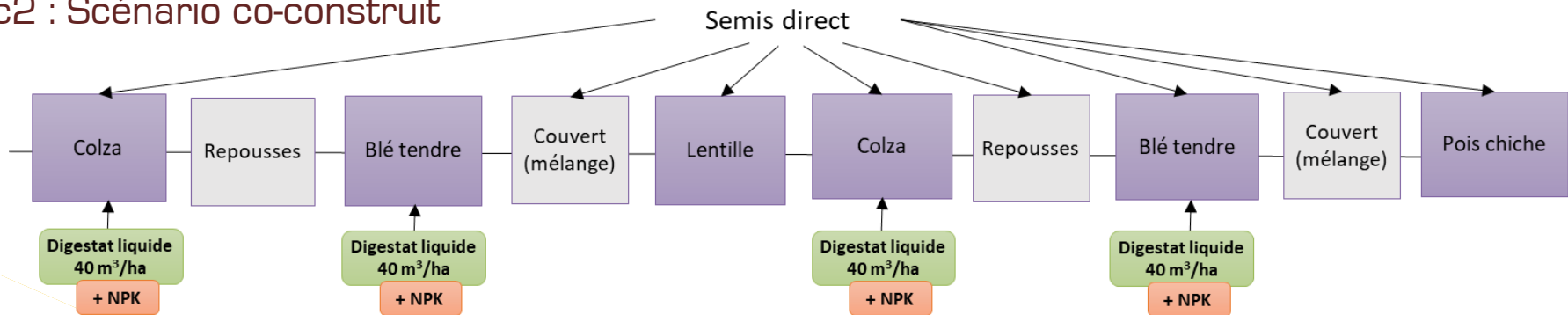
# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

- Atelier 2 : avoir un bilan GES nul (objectif marketing pour la vente d'huile de colza) :

Sc1 : Référence  
plaine de Versailles

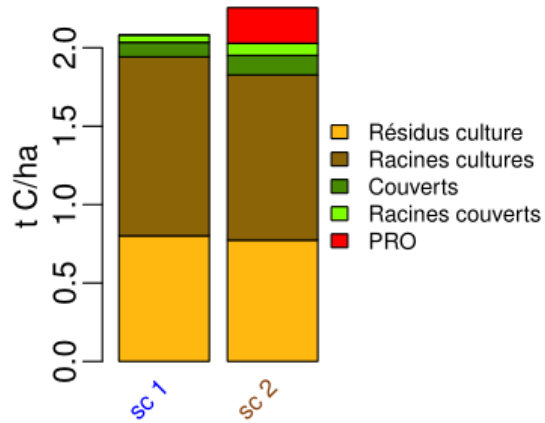


Sc2 : Scénario co-construit

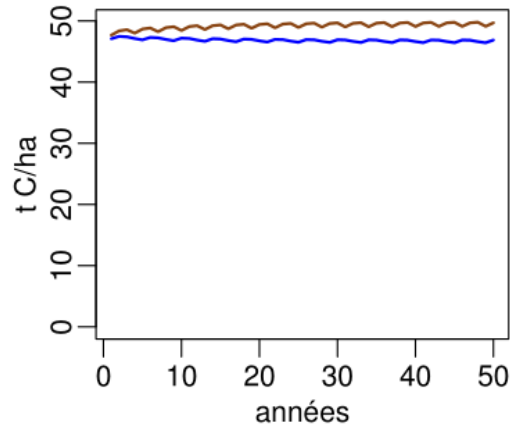


# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

Entrée de carbone humifié

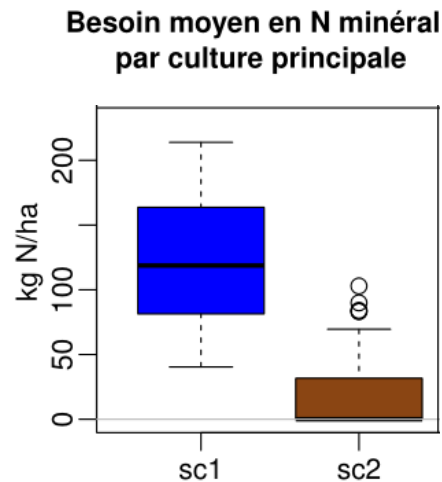
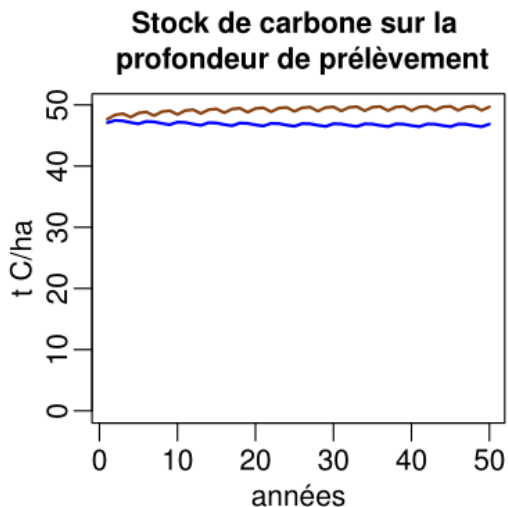
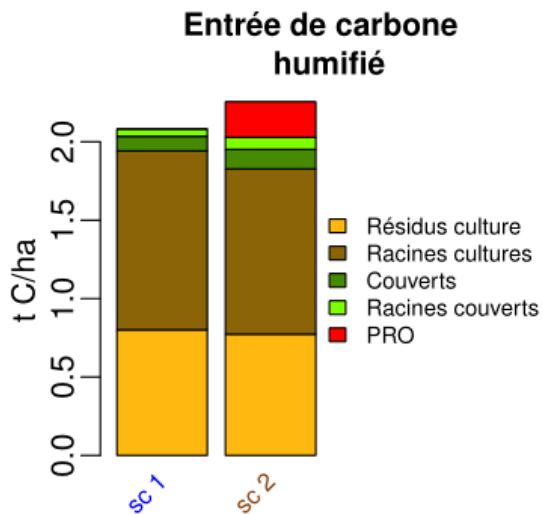


Stock de carbone sur la profondeur de prélèvement



Légère augmentation des entrées de C et des stocks de C du sol

# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)



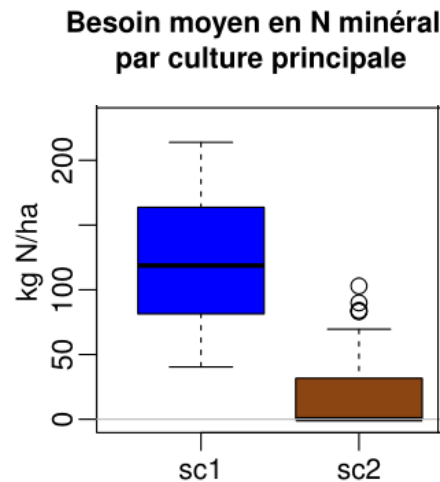
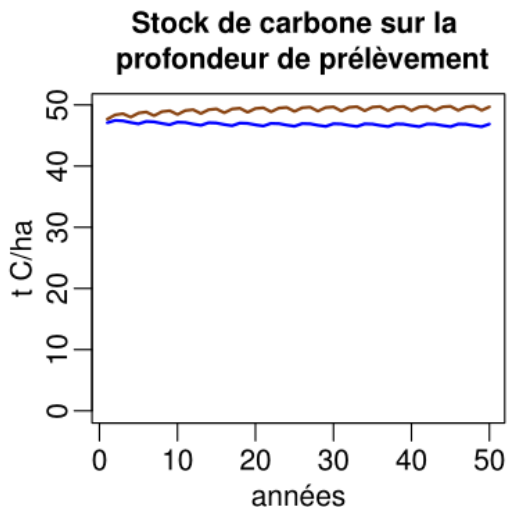
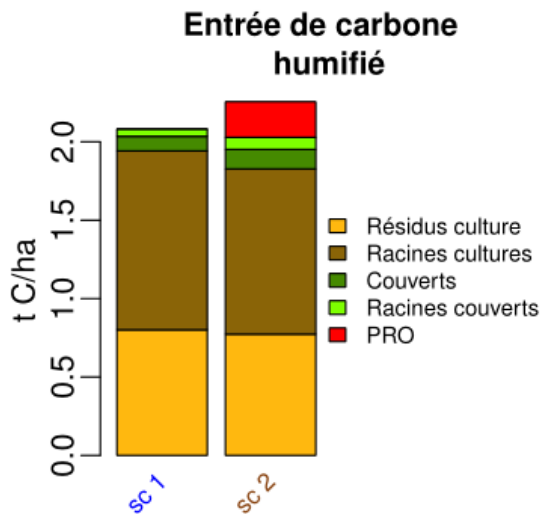
Diminution des besoins en engrais N (et émissions associées)



Légère augmentation des entrées de C et des stocks de C du sol



# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

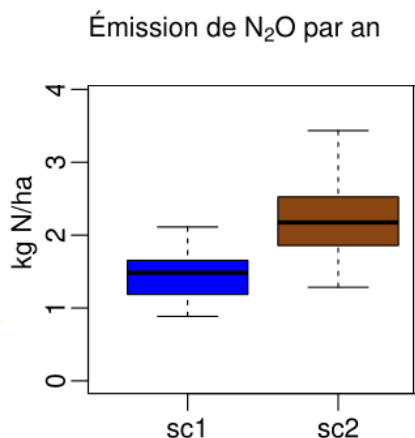


Diminution des besoins en engrais N (et émissions associées)

😊 Légère augmentation des entrées de C et des stocks de C du sol



Augmentation des émissions de N<sub>2</sub>O

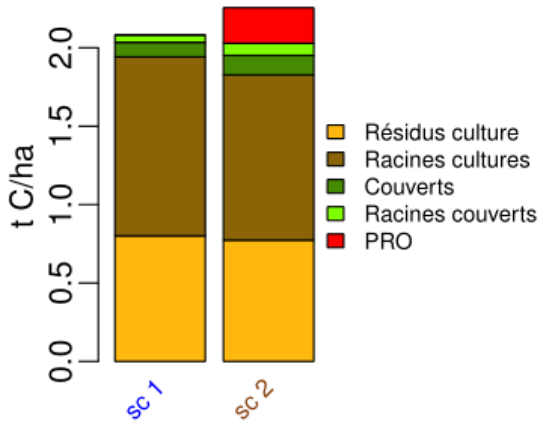


Sc1 : Référence plaine de Versailles

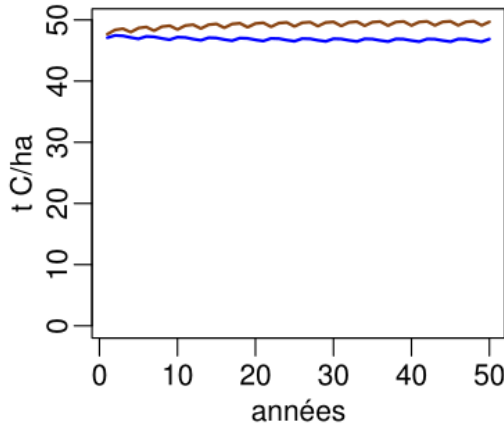
Sc2 : Scénario co-construit

# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

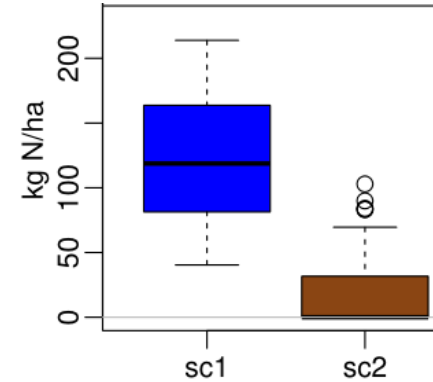
Entrée de carbone humifié



Stock de carbone sur la profondeur de prélèvement



Besoin moyen en N minéral par culture principale



Diminution des besoins en engrais N (et émissions associées)



Légère augmentation des entrées de C et des stocks de C du sol

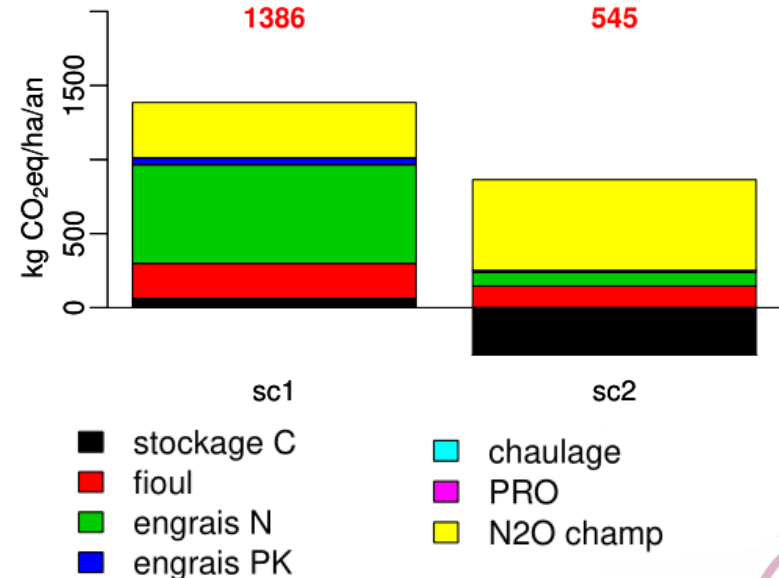
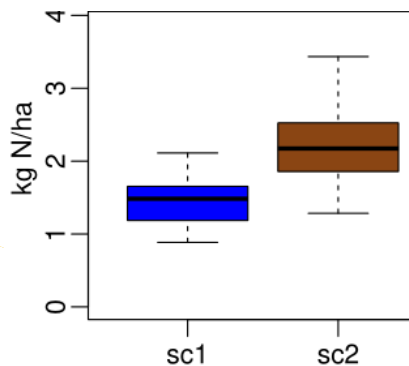


Amélioration du bilan GES mais non nul



Augmentation des émissions de N2O

Émission de N<sub>2</sub>O par an



Sc1 : Référence plaine de Versailles

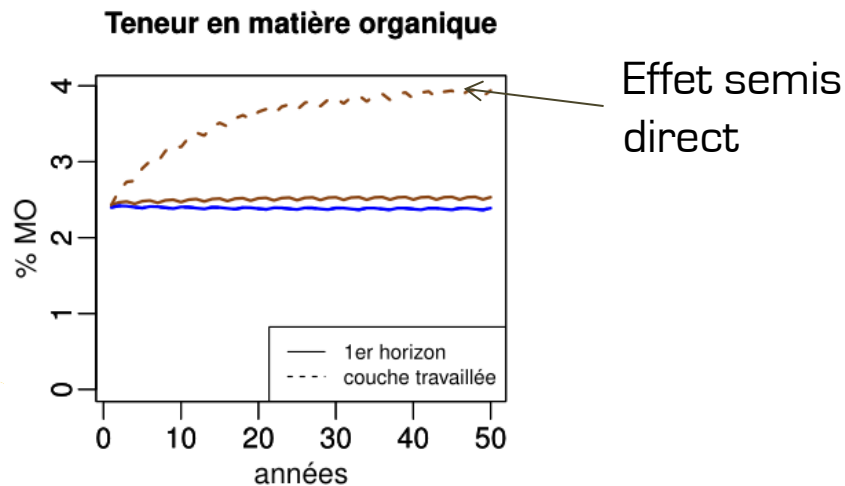
Sc2 : Scénario co-construit

# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

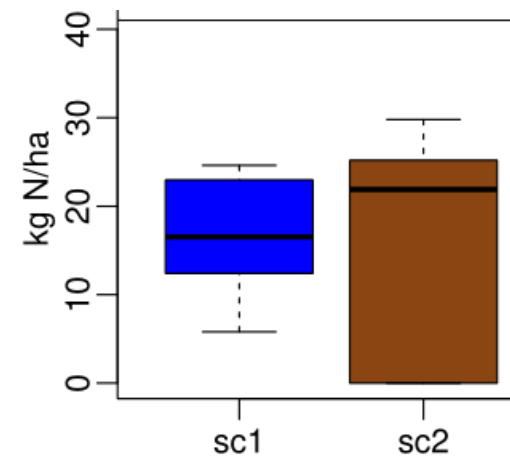
- Des précautions d'interprétation
  - Non prise en compte des émissions amont des PRO : choix méthodo à éclaircir
  - Incertitude sur la qualité de simulation des émissions de  $N_2O$

# Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

- Des précautions d'interprétation
  - Non prise en compte des émissions amont des PRO : choix méthodo à éclaircir
  - Incertitude sur la qualité de simulation des émissions de  $N_2O$
- Effets collatéraux, hors des objectifs de l'atelier mais évalués avec l'outil :
  - Accumulation matière organique en surface (effet semis direct)
  - Augmentation de la volatilisation d'ammoniac (digestat non enfoui)
  - ....



**Volatilisation d'ammoniac par an**



Sc1 : Référence plaine de Versailles

Sc2 : Scénario co-construit

# Conclusion

- Intérêt d'encapsuler différents modèles existants (profite de l'expertise déjà acquise, des paramétrages, des mises à jour...)
- Besoin des essais au champ pour calibrer / valider les modèles utilisés
- Outil fonctionnel, résultats cohérents, mais validation de l'ensemble à réaliser
- Quelle représentation des sorties ? Agrégation ? Score de durabilité... ?
- Résultats des premiers tests en « situation réelle »
  - Intérêt varié des agriculteurs pour l'outil (besoin NPK, MO du sol, battance, bilan GES...)
  - A permis d'évaluer si les systèmes proposés en atelier répondaient aux objectifs
  - Des thématiques manquantes pour répondre aux besoins (pH du sol, sensibilité aux adventices, aux maladies, compaction du sol...) → quels modèles / indicateurs ?
- Outil sera réutilisé dans un prochain projet
- Réflexion à avoir sur l'usage, la maintenance, le développement et la diffusion après projet PROLEG



# Merci de votre attention

