

PSDR PROLEG

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

Florent Levavasseur¹ *, Gentiane Maillet²,
Raymond Reau², Sabine Houot¹

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

² NRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, UMR Agronomie

Contexte

- Développement des engrais minéraux azotés a permis une forte augmentation de la productivité agricole au XX^{ème} 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...

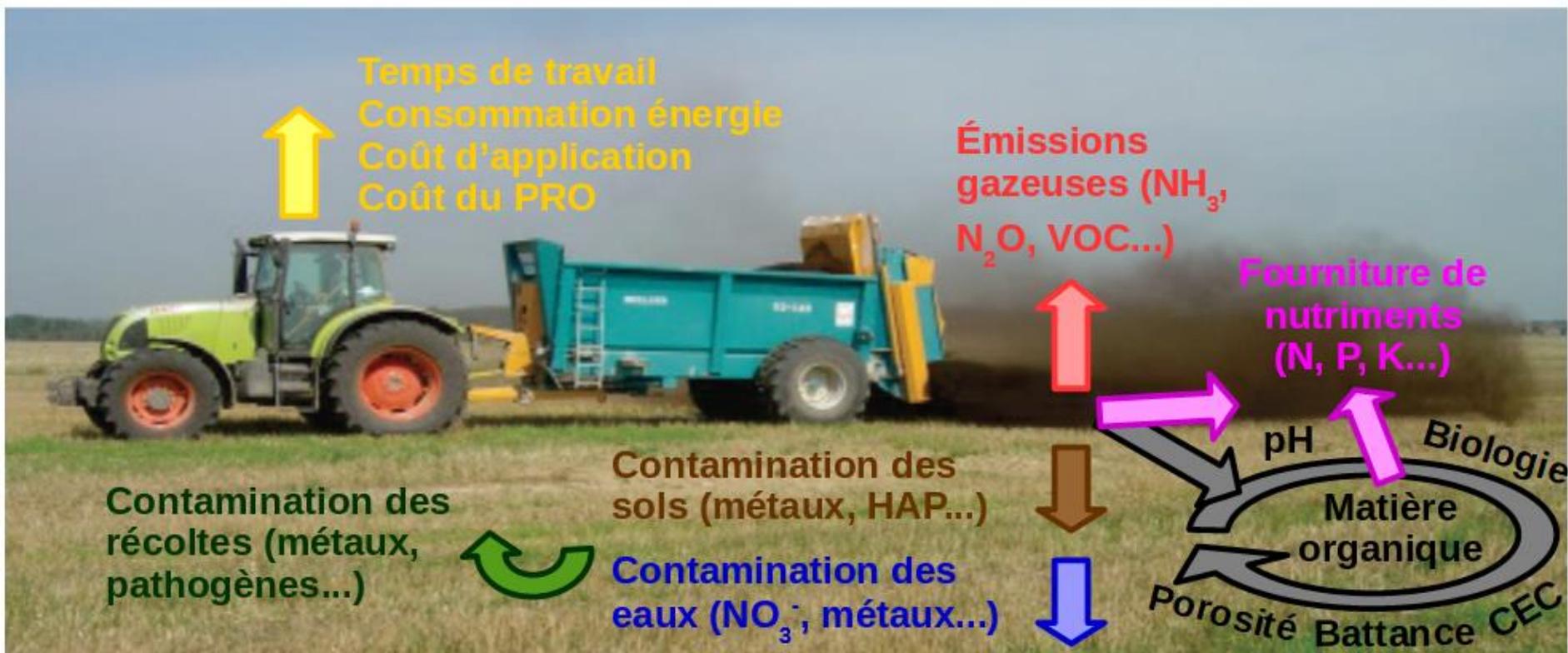


*Couverts avec
légumineuses
(Arvalis)*

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

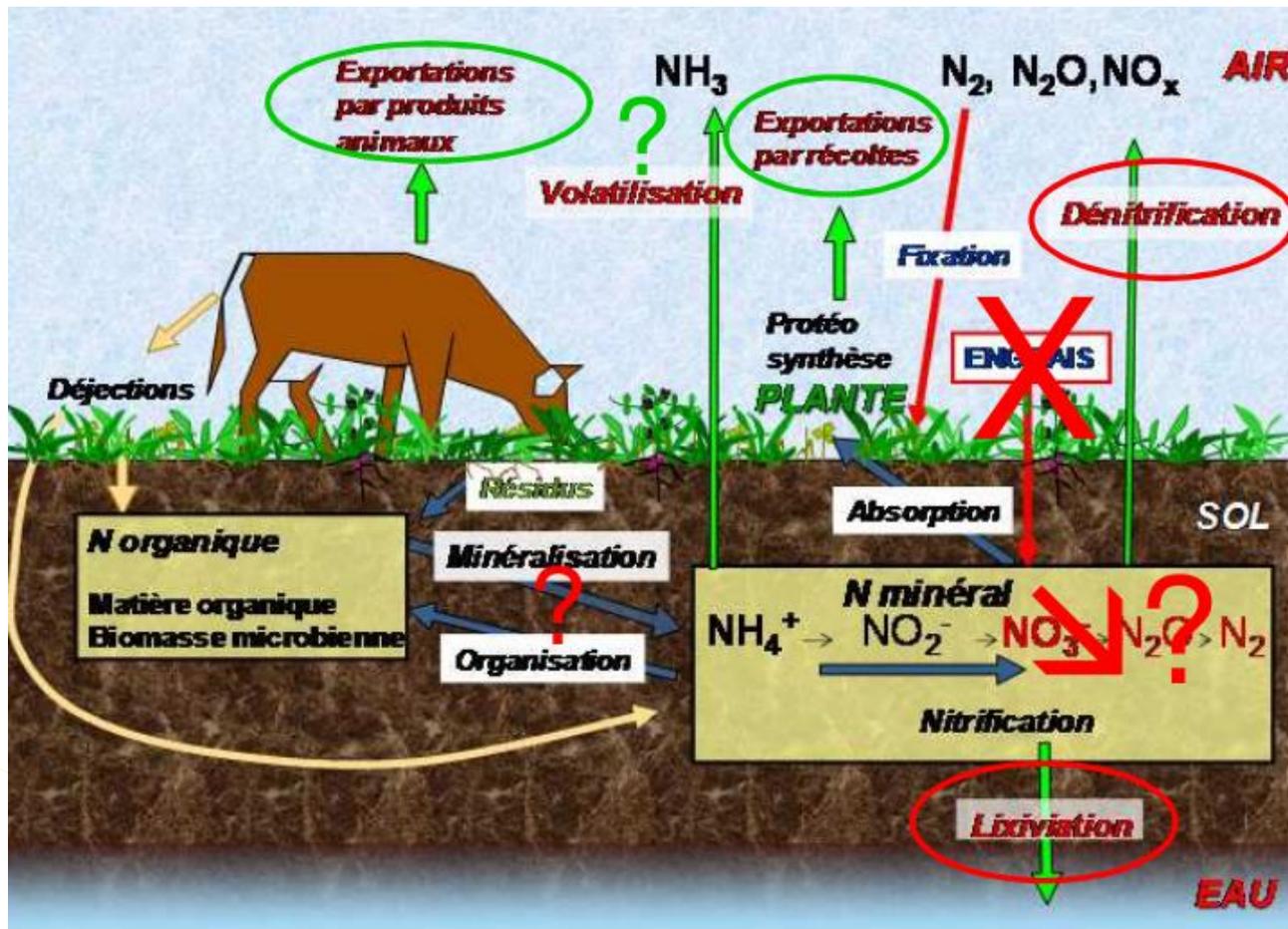
Multiplés effets des PRO

- 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.



Multiples effets des légumineuses

- Multiples effets liées à la moindre utilisation d'engrais azotés
- Régulation des flux N (fixation, minéralisation...)
- Autres effets non liées à N (biodiversité...)



Légumineuses
et gestion de
l'azote.
Cellier et al.,
2015

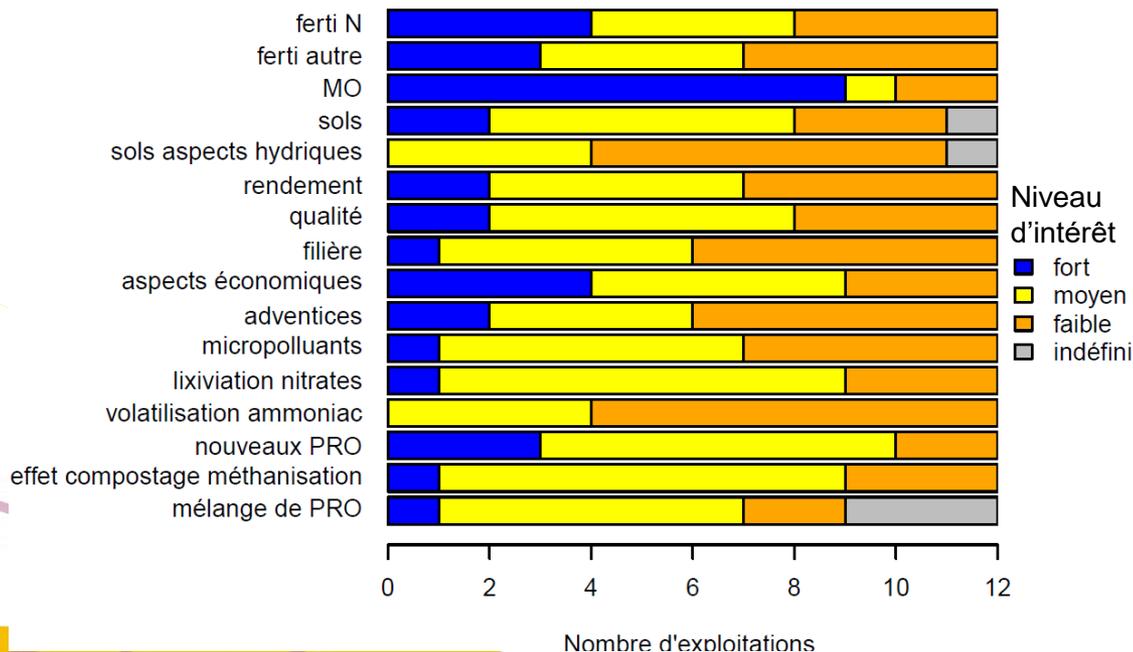
Objectif

- 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*

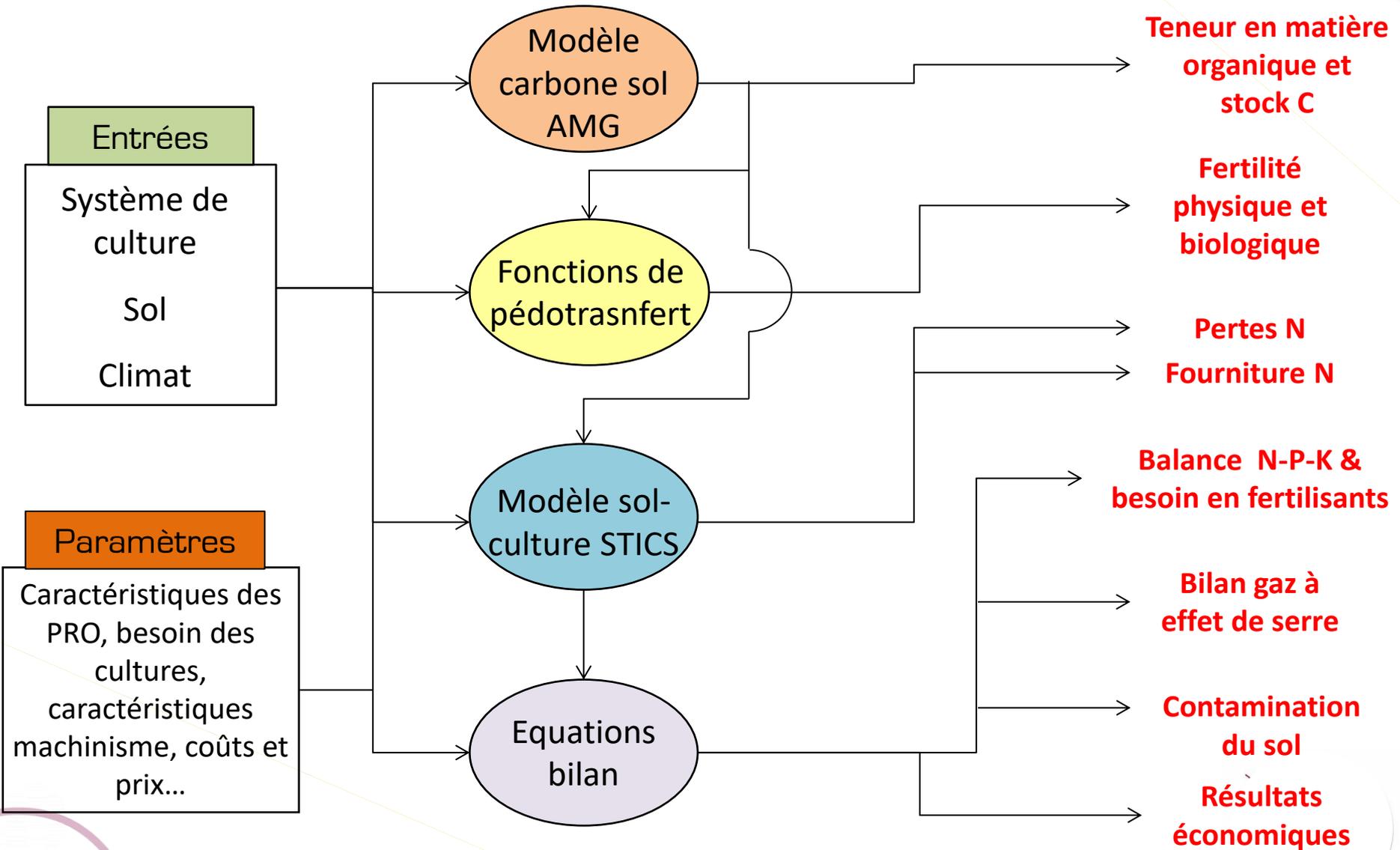
Conception de l'outil

- 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



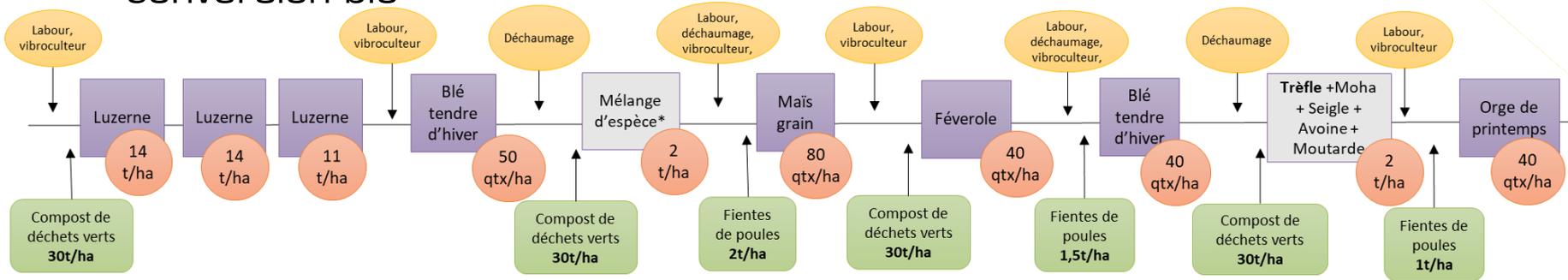
Groupe au travail

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)

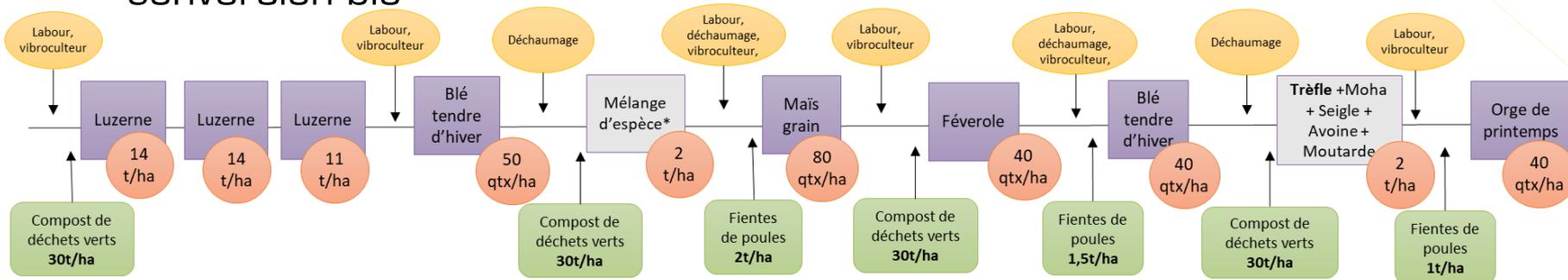
- Objectif atelier 1 : **2,5 % de matière organique dans le sol** (notamment pour limiter la battance) et « **autonomie N** » à long terme suite à conversion bio



Système proposé (1^{ère} rotation : 1-8 ans), puis suppression progressive des apports de fientes sur les rotations suivantes (9-16 ans, 17-24 ans)

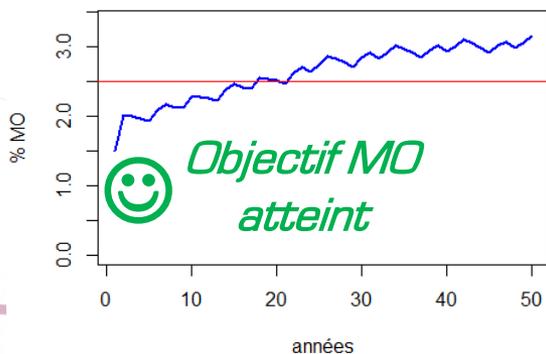
Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (1)

- 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

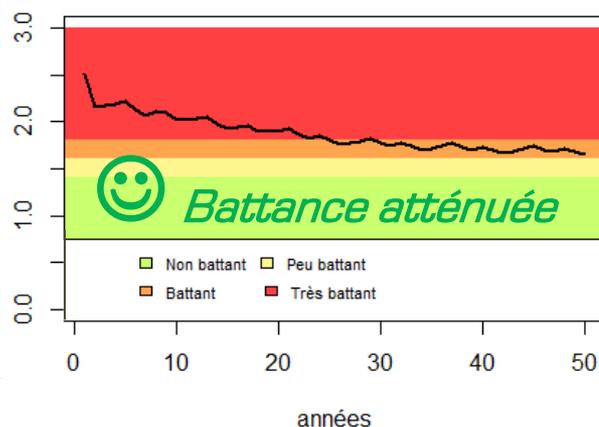


Systeme proposé (1^{ère} rotation : 1-8 ans), puis suppression progressive des apports de fientes sur les rotations suivantes (9-16 ans, 17-24 ans)

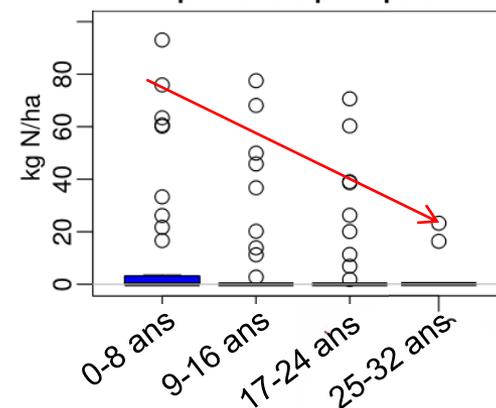
Teneur en matière organique



Indice de battance sur l'horizon travaillé



Besoin moyen en N minéral par culture principale

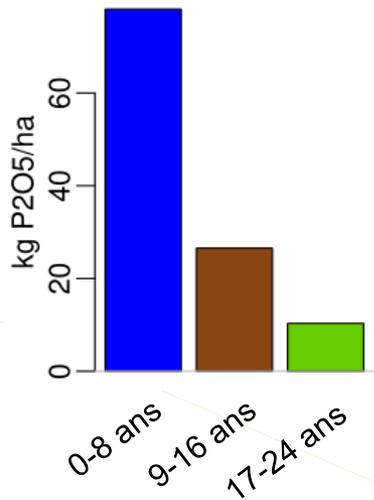


Autonomie N ≈ atteinte en 25 ans

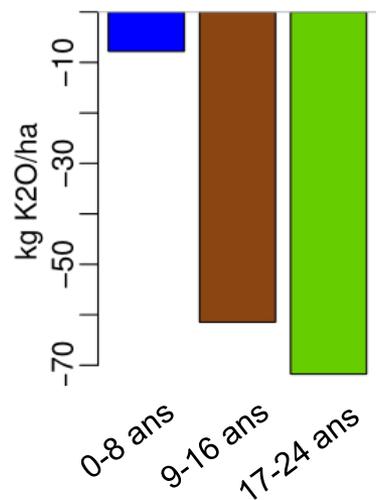
Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (1)

- 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
 - ...

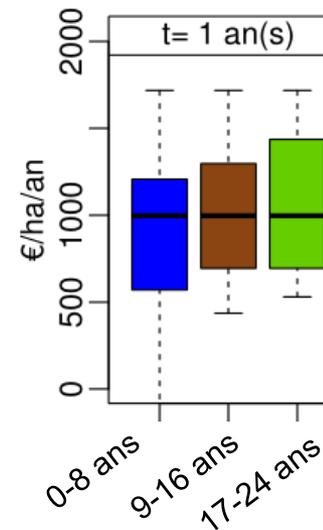
Bilan moyen annuel en P sur la rotation



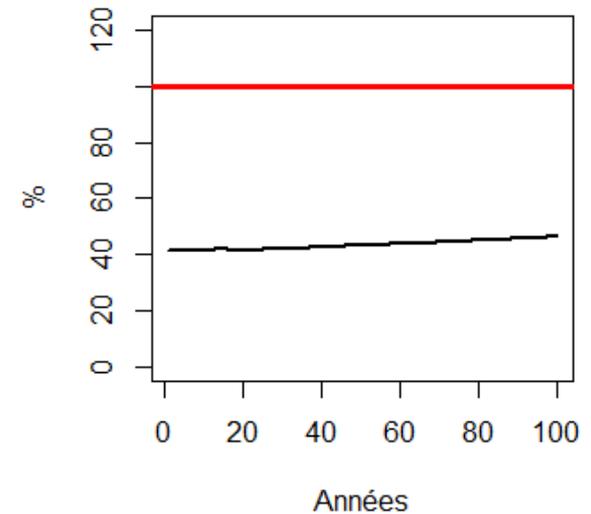
Bilan moyen annuel en K sur la rotation



Marge semi-nette annuelle



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



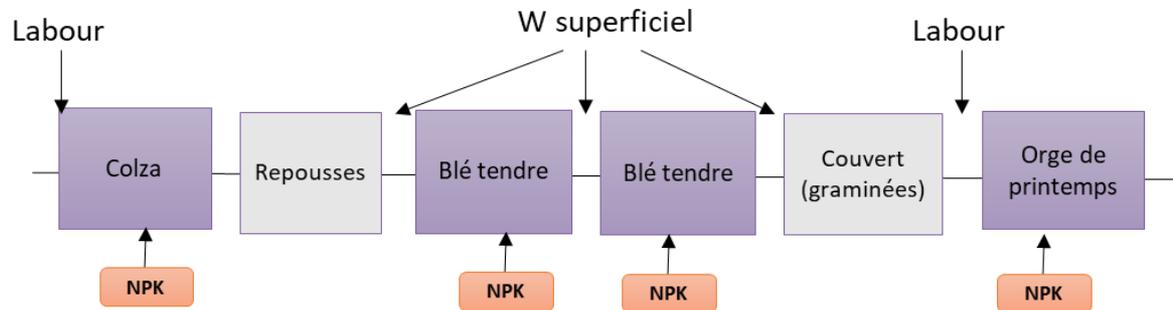
Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

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

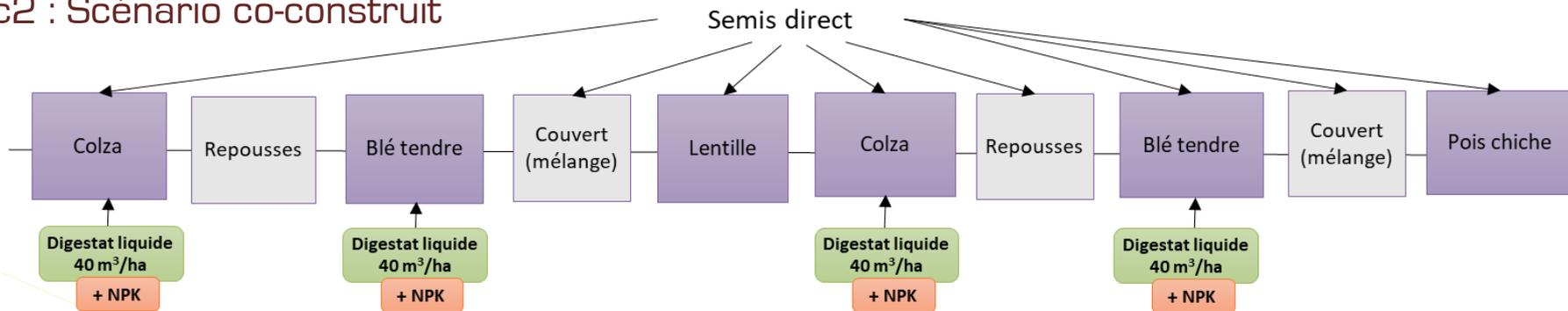
Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)

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

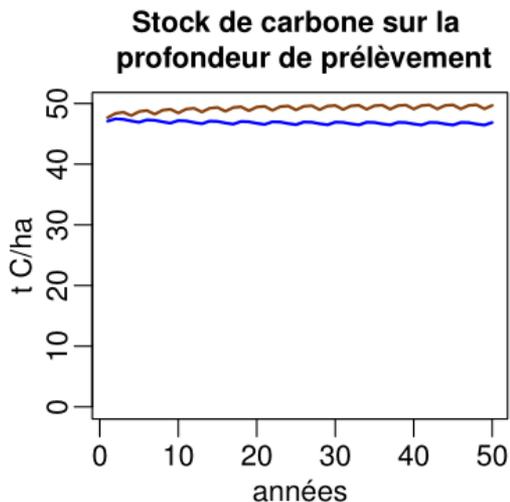
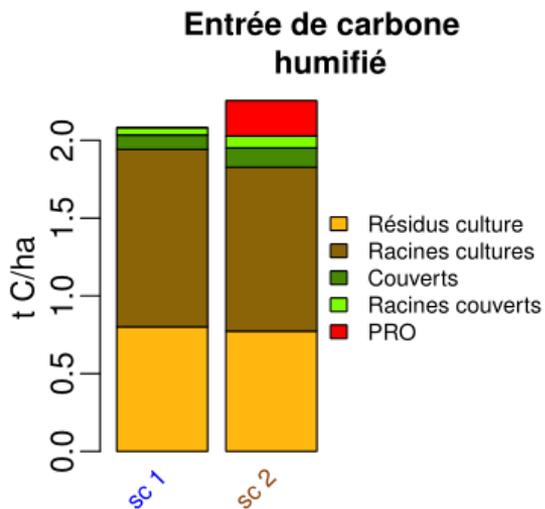
Sc1 : Référence
plaine de Versailles



Sc2 : Scénario co-construit

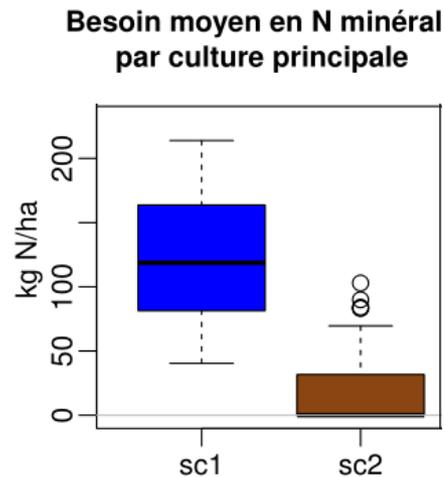
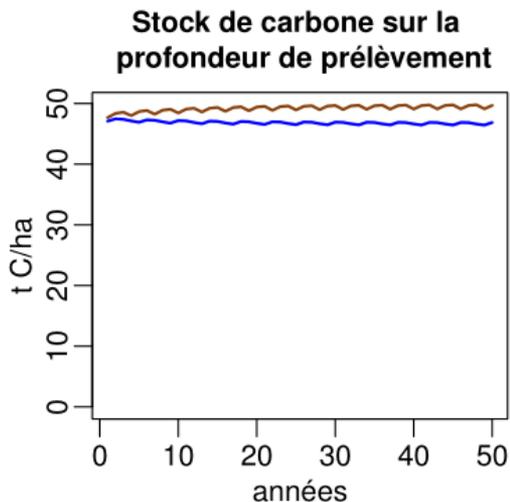
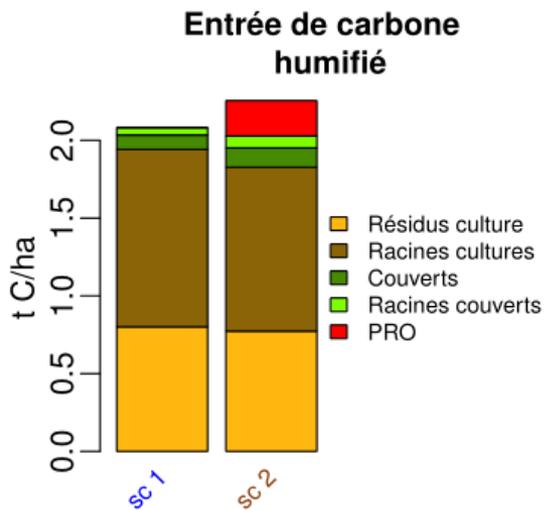


Exemple d'utilisation en ateliers de co-conception (2)



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

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

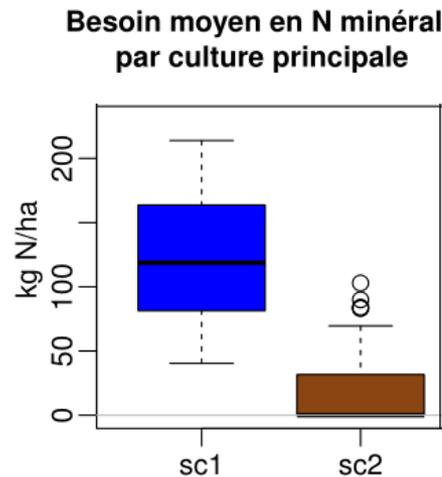
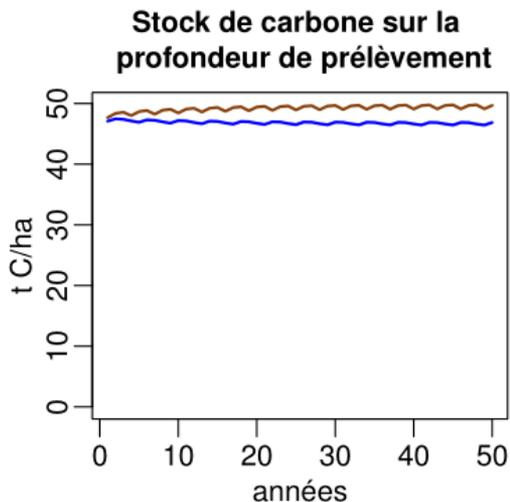
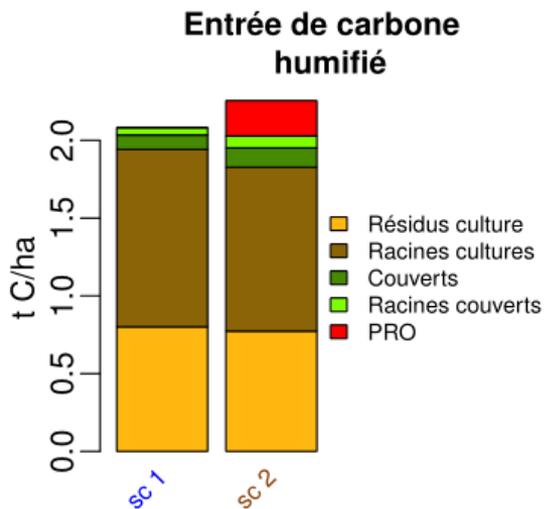


Diminution des besoins en engrais N (et émissions associées)



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

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

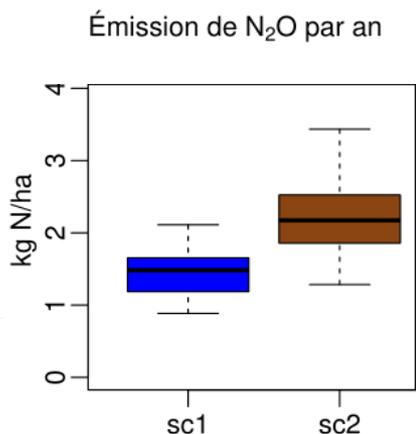


Diminution des besoins en engrais N (et émissions associées)

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



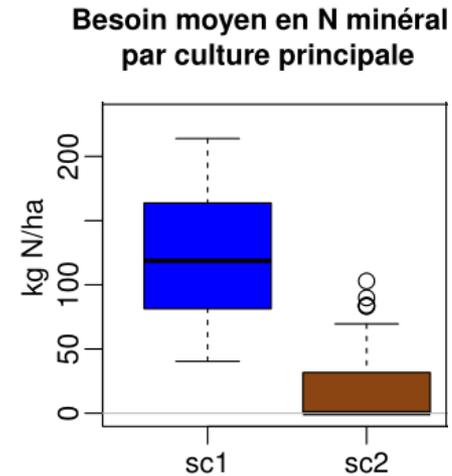
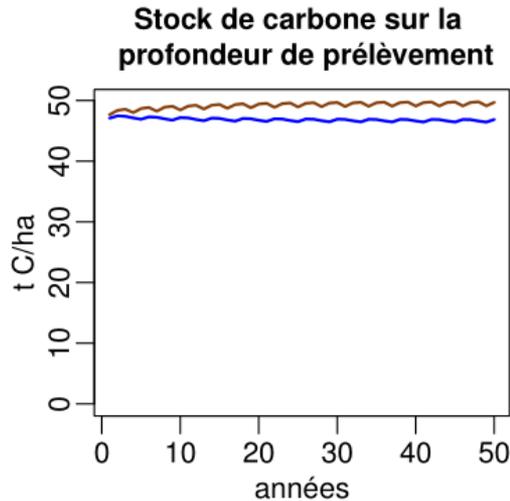
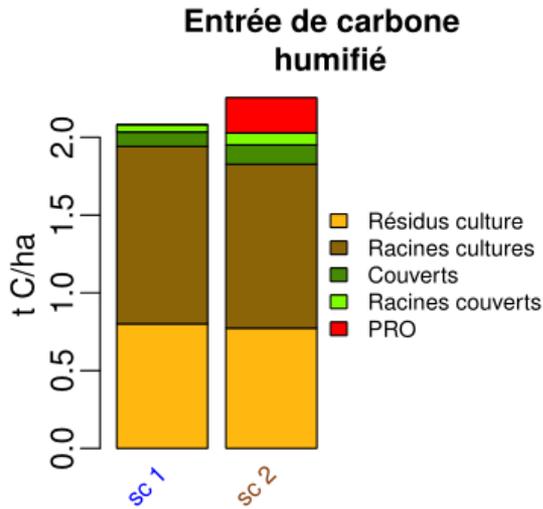
Augmentation des émissions de N₂O



Sc1 : Référence plaine de Versailles

Sc2 : Scénario co-construit

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



Diminution des besoins en engrais N (et émissions associées)

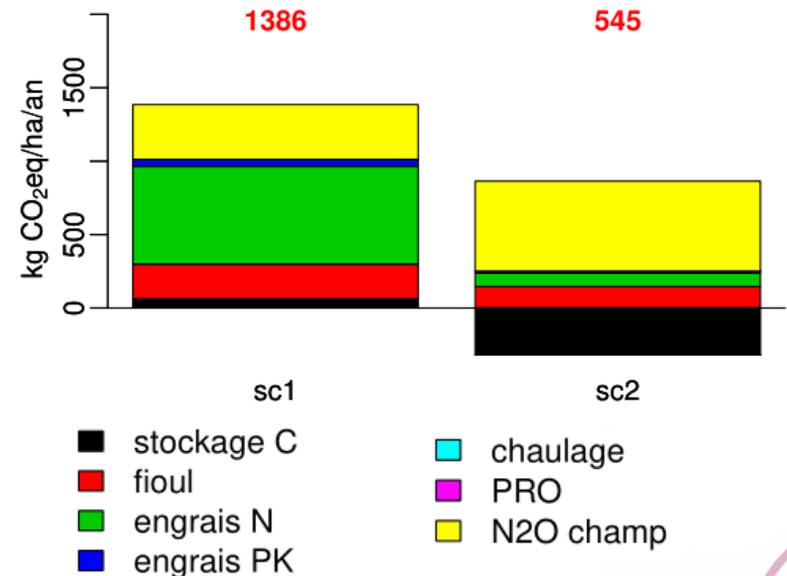
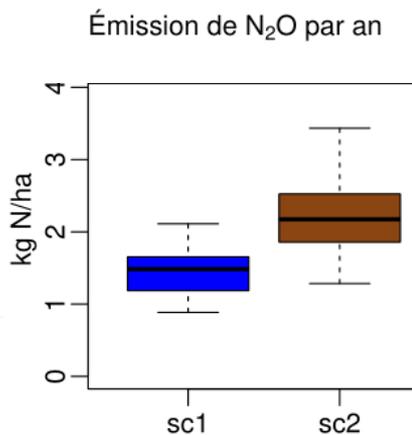
😊 Légère augmentation des entrées de C et des stocks de C du sol



Amélioration du bilan GES mais non nul



Augmentation des émissions de N2O



Sc1 : Référence plaine de Versailles

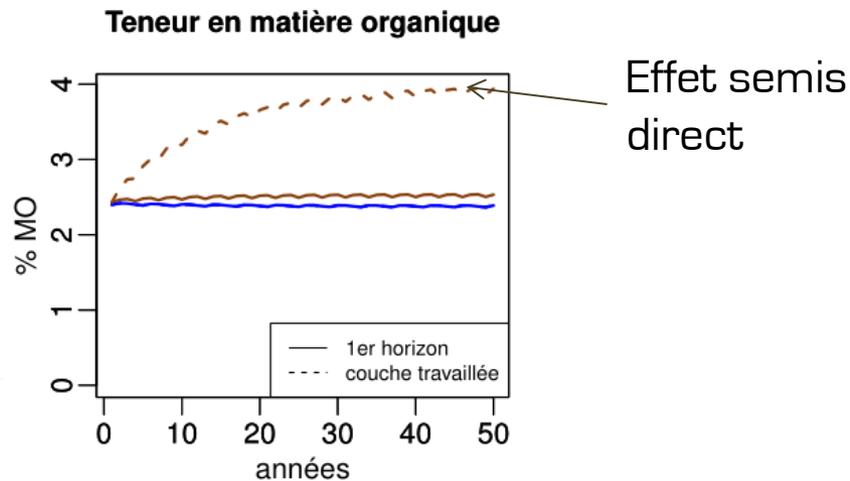
Sc2 : Scénario co-construit

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

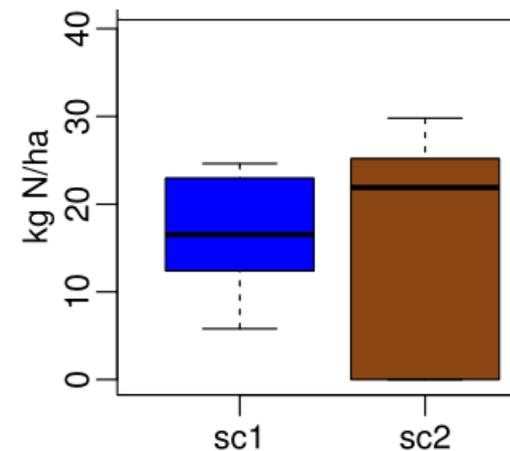
- Des précautions d'interprétation
 - Non prise en compte des émissions amont des PRO : choix méthodo à éclaircir
 - Incertitude sur la qualité de simulation des émissions de N_2O

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

