



# Construction d'un outil multicritère d'évaluation ex ante des effets des PRO. Principes et exemples d'application

Florent Levavasseur, Sabine Houot

UMR INRA AgroParisTech ECOSYS, Université Paris Saclay, 78850 Thiverval-Grignon

# Plan



Contexte du développement de l'outil

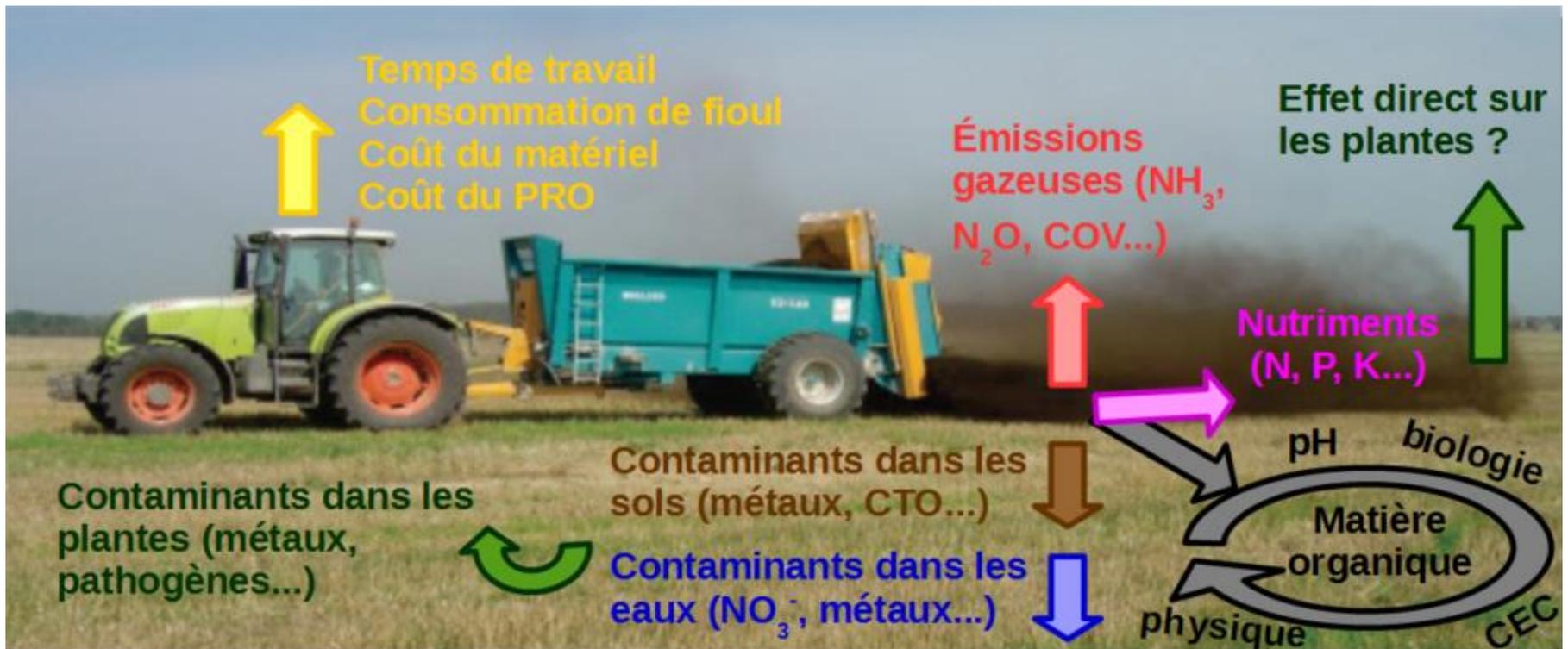
Indicateurs retenus et exemples d'application

Conclusion

# Introduction



- Diversité des effets du retour au sol des PRO
- Projet PSDR PROLEG : besoin d'évaluer les performances des systèmes de culture utilisant des PRO, co-conçus avec les agriculteurs en atelier



# Quelle évaluation dans PROLEG ?



- Cadre proposé par Bockstaller et al. (2013)
  - Pourquoi évaluer : conseiller et accompagner le changement, faire des simulations de changement de pratiques (acquérir des références sur des systèmes de production)
  - Quels utilisateurs : R&D (1<sup>er</sup> temps) et conseil agri (2<sup>e</sup> temps ?)
  - On évalue quoi : performances des systèmes de culture, agronomiques, environnementales et/ou économiques, selon les objectifs de l'utilisateur, sensibles aux PRO
  - Limites spatiales : le champ, avec prise en compte des impacts amont (fabrication des intrants), mais pas aval
  - Limites temporelles : sorties annuelles (ou à la rotation), à différents horizons temporels ( $t_0$ , 20 ans...) pour prendre en compte les évolutions à long terme de la matière organique du sol
  - Besoin d'indicateurs prédictifs (impossibilité de tester au champ l'ensemble des SDC et lourdeur de la mesure terrain)

# Quel outil d'évaluation ?



- Pas d'outil existant répondant aux objectifs de l'évaluation identifiés :
  - Des outils de recherche prédictifs trop complexes à mettre en œuvre et qui ne couvrent pas tous les volets de l'évaluation : STICS (*Brisson et al., 2008*)...
  - Des outils plus simples destinés au transfert, mais qui ne couvrent pas tous les volets de l'évaluation : AMG pour C (*Andriulo et al., 1999*), SYSTN pour N (*Parnaudeau et al., 2012*)
  - Des méthodes d'évaluation multicritère des effets des PRO non prédictives basées sur des mesures terrain (*Obriot et al., 2016*)
  - Des outils multicritères prédictifs qui ne prennent pas en compte la spécificité des PRO : Indigo/CRITER (*Bockstaller et Girardin, 2008*), ou commerciaux et fermés : SYSTERRE

# Développement d'un nouvel outil

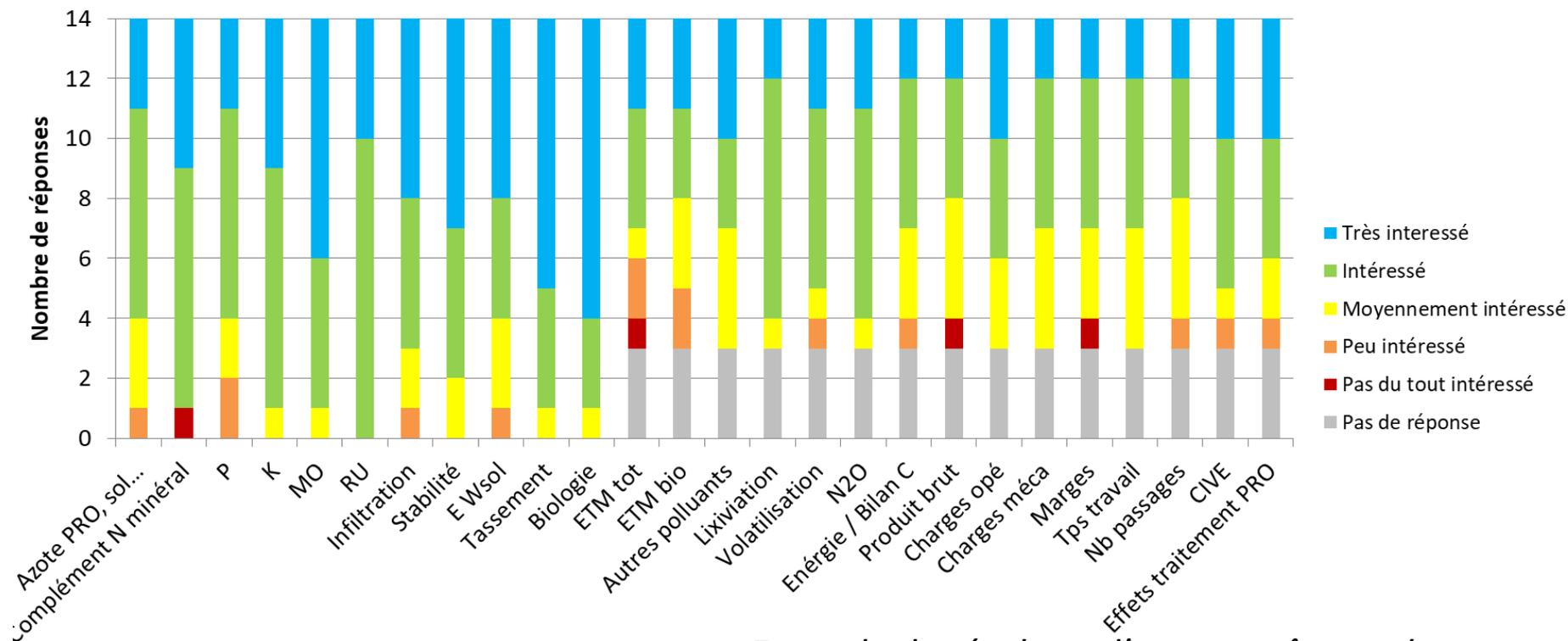


- 1) Identifier les effets des PRO à considérer (enquêtes, littérature)
- 2) Identifier les indicateurs traduisant ces effets (littérature, sollicitation d'experts)
- 3) Identifier des formalismes robustes déjà validés permettant de calculer ces indicateurs
- 4) Agréger ces formalismes dans un outil simple d'utilisation, paramétré, sur lequel on conserve la main pour faciliter son évolution

# Quels effets prendre en compte ?



- Effets des PRO majoritairement connus (*Houot et al., 2014*)
  - Quels sont les plus importants à considérer ?
- Peu d'éléments marquants ressortis des enquêtes : plupart des effets considérés comme intéressants à prendre en compte



Exemple de résultats d'une enquête sur les effets des PRO à considérer dans l'outil

# Plan



Contexte du développement de l'outil

Indicateurs retenus et exemples d'application

Conclusion

# Description des exemples traités



- Rotation : colza – (repousses de colza) blé – blé – (couvert de légumineuses) orge de printemps
- Toutes les pailles restituées
- Travail du sol : labour (25 cm)
- Sols limoneux profonds, teneur initiale en MO de 2 %
- Scénario climatique : Grignon 1998
- Scénarios :
  - **Sc1 : uniquement engrais minéraux**
  - **Sc2 : Apports de fientes (3 t/ha) devant colza et de compost de déchets verts (30 t/ha) sur le couvert précédent l'orge, complétement en engrais minéraux**

# Simulation du carbone du sol

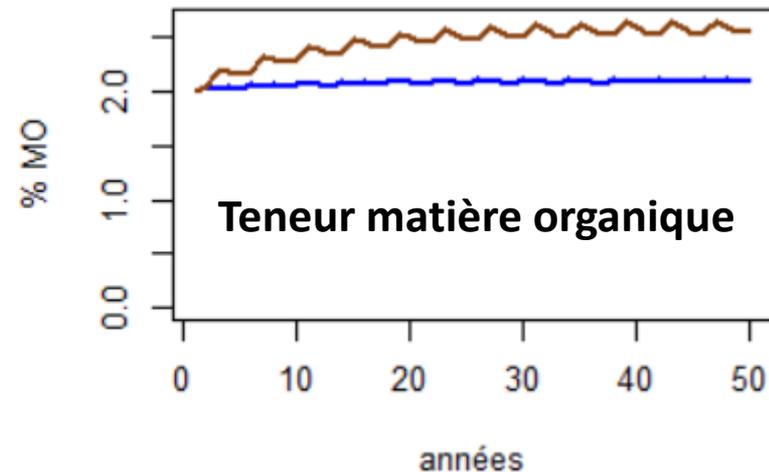
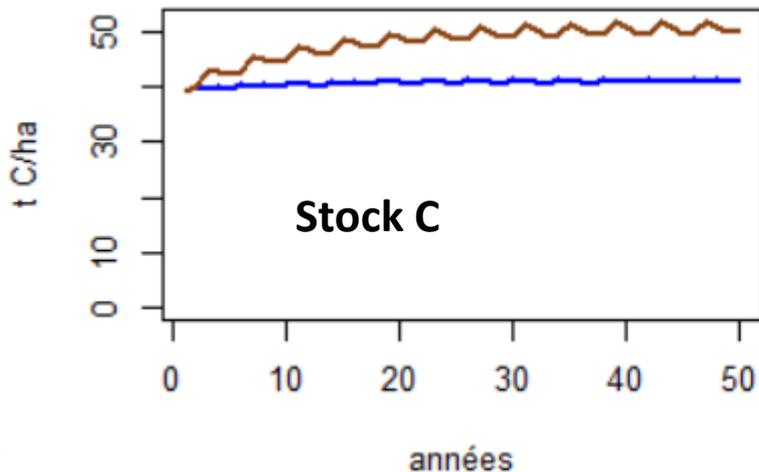


- Modèle AMG (*Andriulo et al., 1999*) pour prédire l'effet à long terme des SDC sur la matière organique du sol
- Modèle robuste, validé sur une large gamme de SDC, y compris avec PRO (*Levavasseur et al., 2018a*)
- Paramétrage des PRO avec ISMO (coefficient isohumique) et teneur C moyenne (ESCO MAFOR, *Houot et al., 2014*)
- Indicateurs produits : Stock C 1er horizon de sol et teneur en matière organique dans l'horizon travaillé

# Simulation du carbone du sol



- Modèle AMG (*Andriulo et al., 1999*) pour prédire l'effet à long terme des SDC sur la matière organique du sol
- Modèle robuste, validé sur une large gamme de SDC, y compris avec PRO (*Levavasseur et al., 2018a*)
- Paramétrage des PRO avec ISMO (coefficient isohumique) et teneur C moyenne (ESCO MAFOR, *Houot et al., 2014*)
- Indicateurs produits : Stock C 1er horizon de sol et teneur en matière organique dans l'horizon travaillé



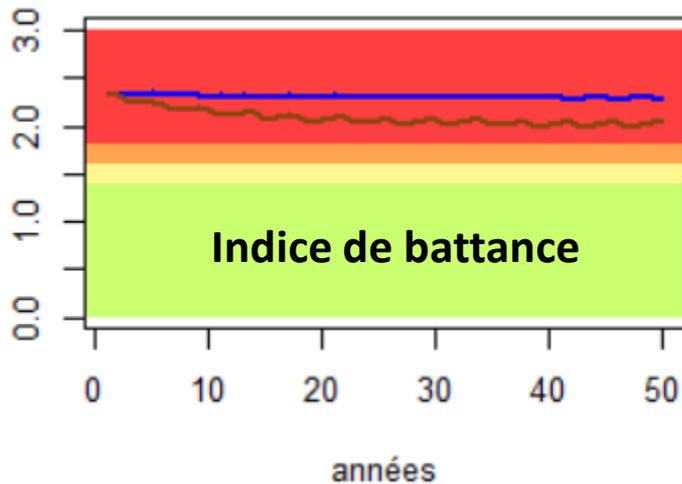
# Fertilité physique



- Indice de battance (*Rémy et Laflèche, 1971*)

$$IB = (1.5 LF + 0.75 LG) / (A + 10 MO) - \max(0, 0.2 (pH - 7))$$

< 1.4 **Non battant** 1.4 – 1.6 **Peu battant** 1.6 – 1.8 **Battant** > 1.8 **Très battant**



# Fertilité physique



- Indice de battance (Rémy et Laflèche, 1971)

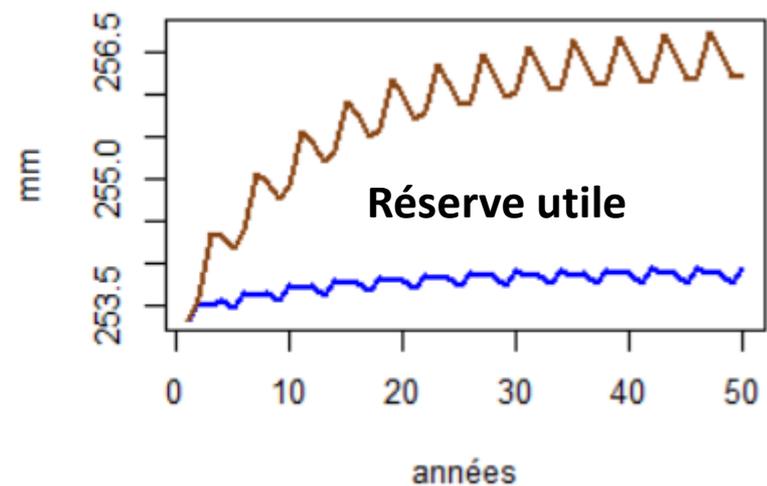
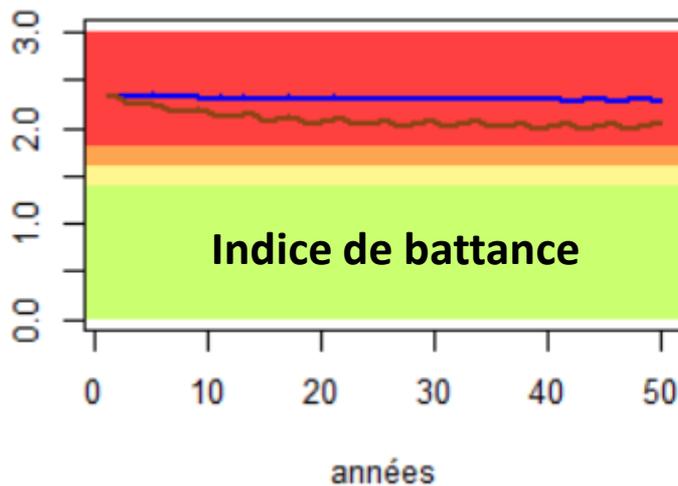
$$IB = (1.5 LF + 0.75 LG) / (A + 10 MO) - \max(0, 0.2 (pH - 7))$$

< 1.4 Non battant    1.4 – 1.6 Peu battant    1.6 – 1.8 Battant    > 1.8 Très battant

- Réserve utile (Rawls et al., 2003)

$$RU = (CC_i - PFPI) \cdot H_i \cdot (1 - \%EG_i)$$

$$CC_i = f_1(\text{argile, sable, C}) \text{ et } PFPI = f_2(\text{argile, sable, C})$$



# Fertilité physique



- Indice de battance (*Rémy et Laflèche, 1971*)

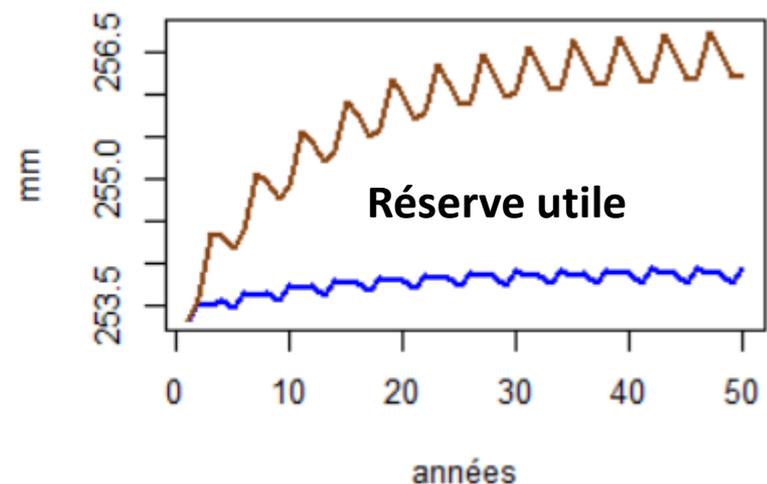
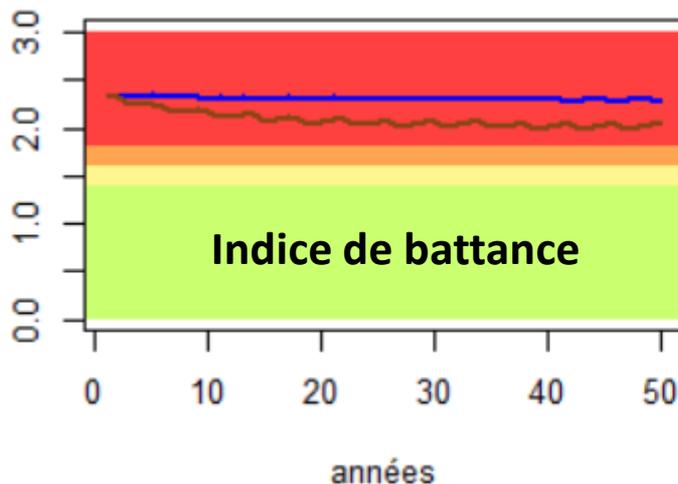
$$IB = (1.5 LF + 0.75 LG) / (A + 10 MO) - \max(0, 0.2 (pH - 7))$$

< 1.4 **Non battant** 1.4 – 1.6 **Peu battant** 1.6 – 1.8 **Battant** > 1.8 **Très battant**

- Réserve utile (*Rawls et al., 2003*)

$$RU = (CC_i - PFP_i) \cdot H_i \cdot (1 - \%EG_i)$$

$$CC_i = f_1(\text{argile, sable, C}) \text{ et } PFP_i = f_2(\text{argile, sable, C})$$



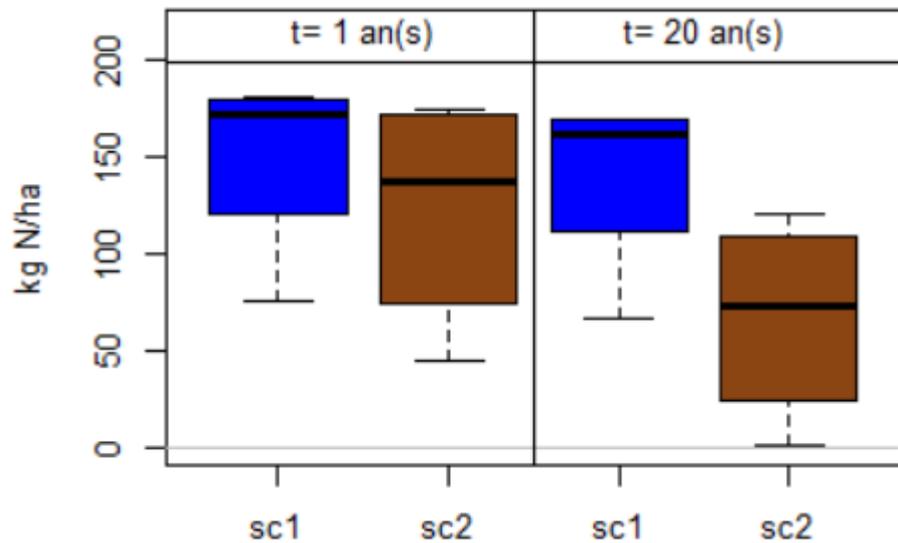
- Autres indicateurs à l'étude (compaction, énergie pour travailler le sol, infiltration, jours trafficables disponibles...)

# Simulation du bilan en N



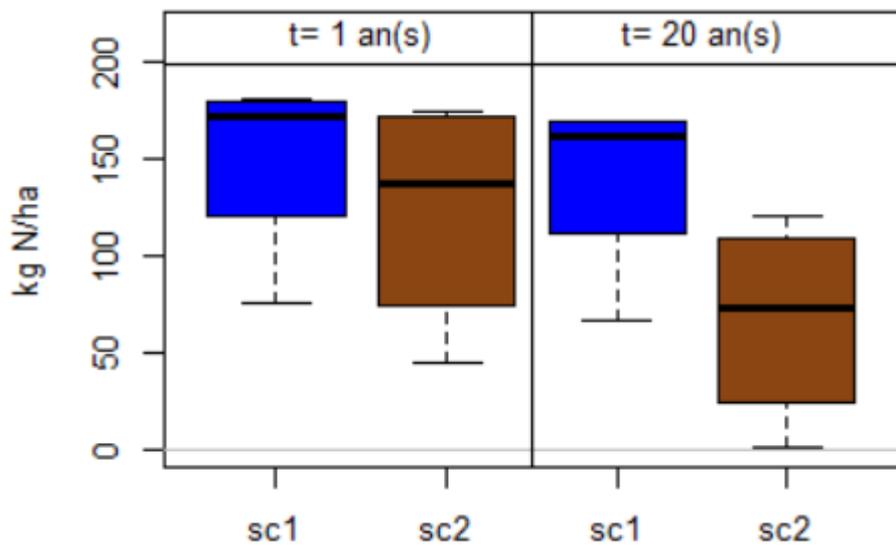
- Equation du bilan N adaptée du COMIFER (*COMIFER, 2013*)  
$$\text{Dose N} = \text{Besoin N} - (\text{N minéral sol initial} + \text{minéralisation } N_{\text{org}} \text{ sol} + \text{minéralisation } N_{\text{org}} \text{ résidus (PRO, pailles...)}) + \text{N minéral PRO} + \text{Npluie} + \text{Nirrigation} - \text{pertes N}$$
- Besoin en N fonction du rendement, autres postes du bilan N fournis par STICS (*Brisson et al., 2008*)
- STICS validé au préalable sur systèmes avec PRO (*Levavasseur et al., 2018b*), PRO paramétrés via incubations labo
- Bilan N calculé en comparant dose N calculée à dose N apportée ou ajustement automatique par l'outil des apports N selon le dose calculée
- Dose N et bilan N calculés à différents horizons temporels pour tenir compte de l'évolution de la MO du sol

# Simulation des bilans en N



**Besoin moyen  
annuel en N**

# Simulation des bilans en N

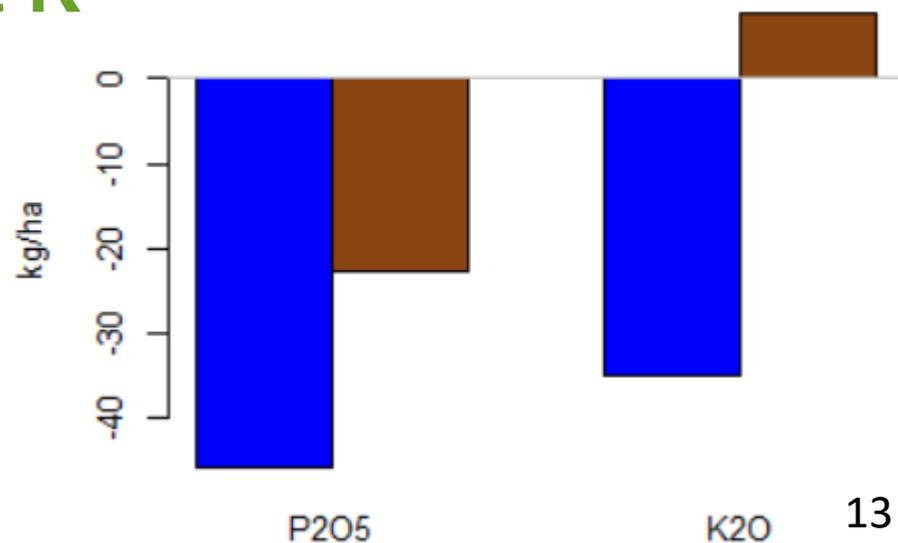


Besoin moyen annuel en N

# Simulation des bilans P et K

- Bilan P et K : simple bilan apports (engrais, PRO) – exports (récolte) à la rotation

Bilan moyen annuel PK sur la rotation

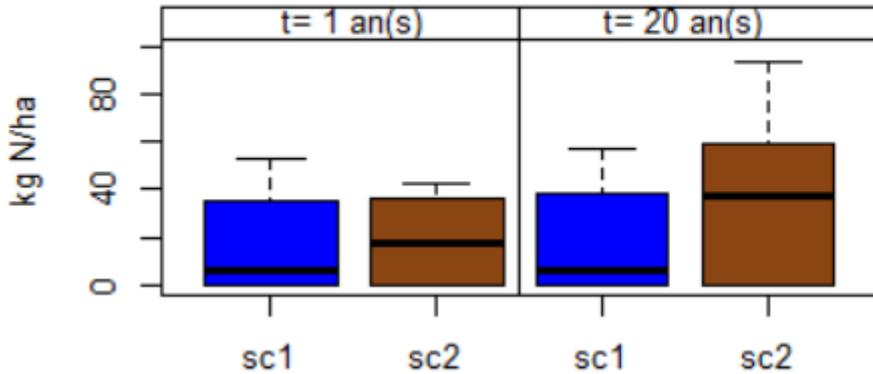


# Simulation des pertes en N

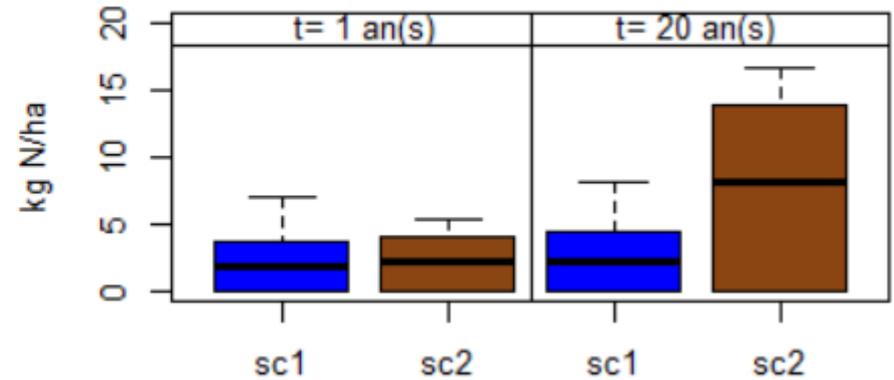


- Simulées avec STICS également

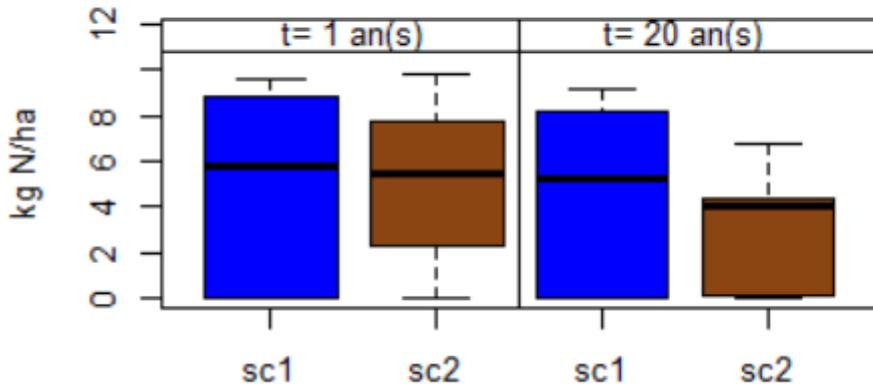
### Reliquat entrée hiver moyen



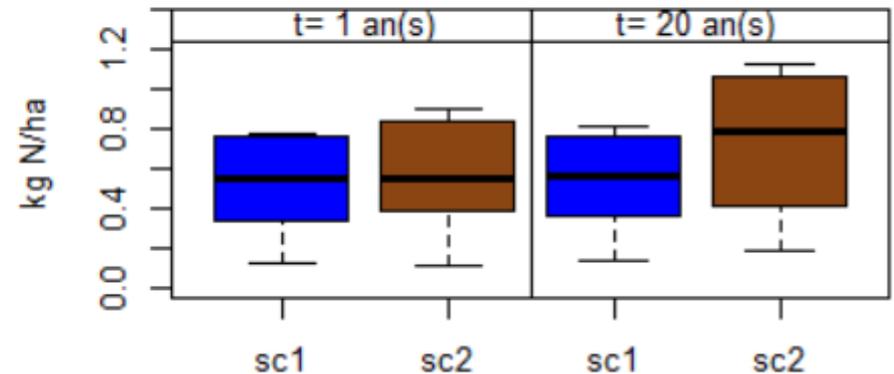
### N lixivié



### Volatilisation ammoniac



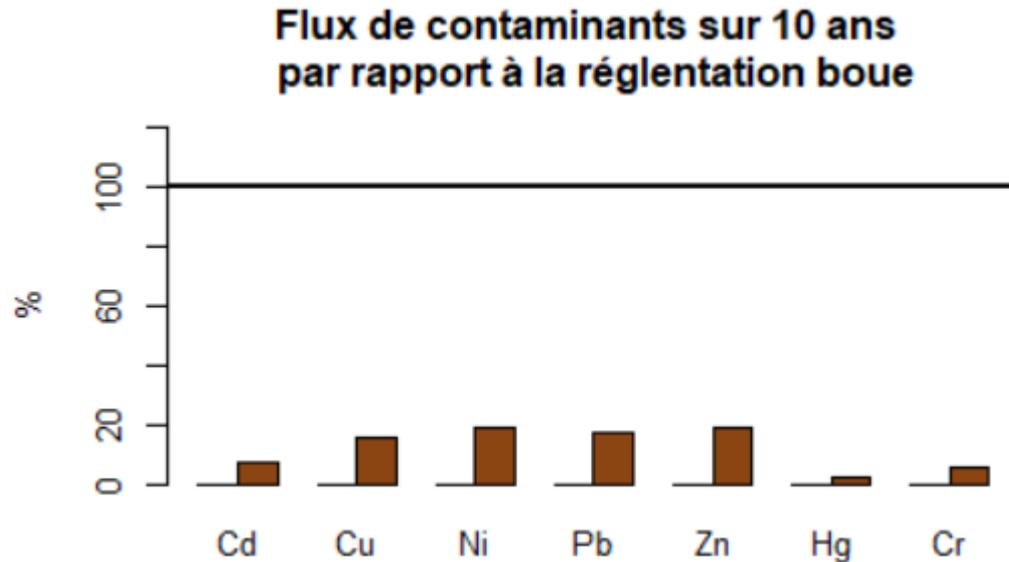
### émission N2O



# Contaminants



- Respect de la réglementation en termes de flux d'apports d'ETM

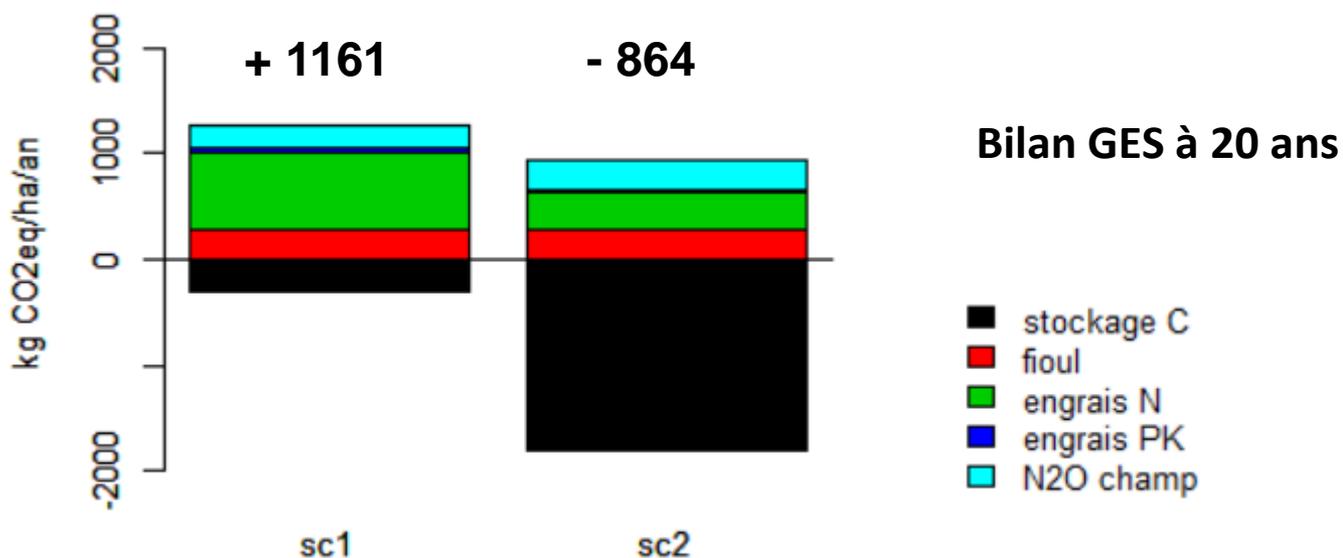


- Apports ETM des engrais à considérer
- Autres indicateurs ETM (PNEC...) et autres contaminants à termes ?

# Bilan énergie et GES



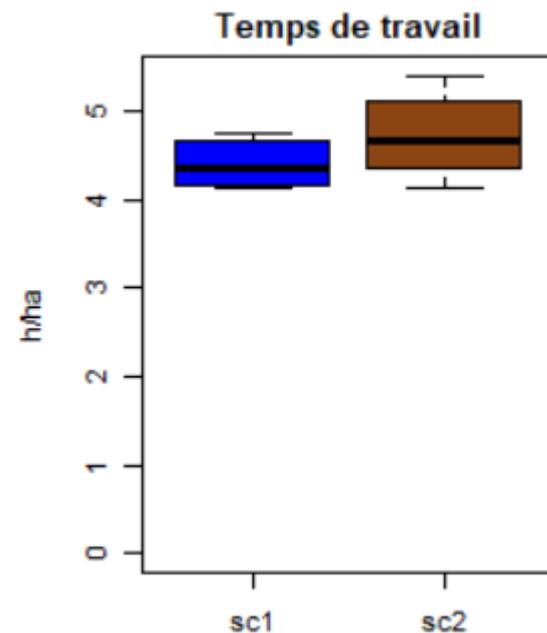
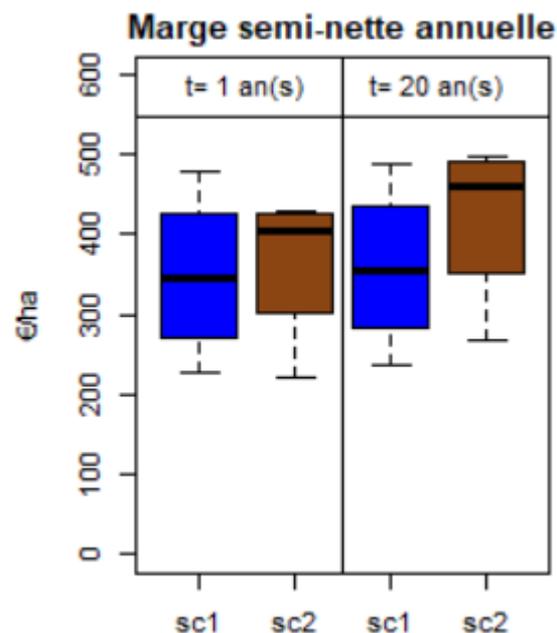
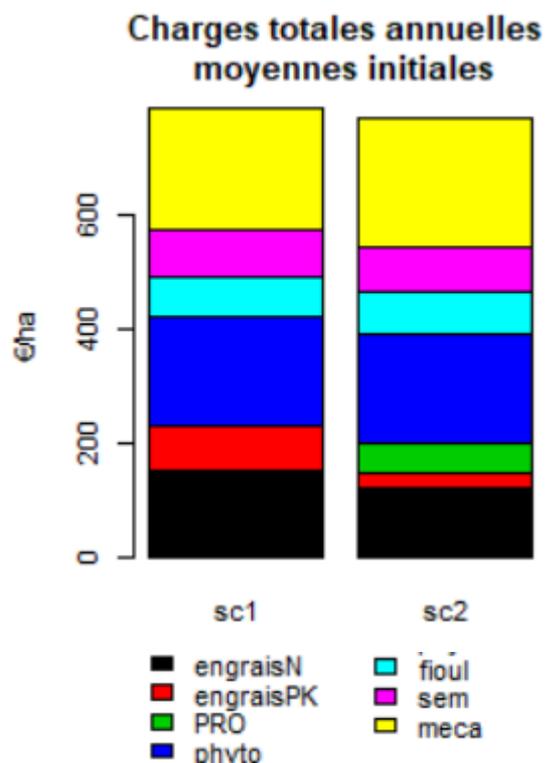
- Réalisation d'un bilan GES :
  - Stockage de carbone
  - Emissions de N<sub>2</sub>O au champ
  - Emissions liées à la fabrication des engrais N, P et K
  - Emissions liées à la combustion de fioul par le matériel agricole (base de données de CRITER)
- ⚠ En cours de développement, à valider / finaliser
- Inclusion des émissions amont des PRO ?



# Indicateurs technico-économiques



- Calcul du produit brut, des charges (méca, fioul, semences, engrais...), des marges et du temps de travail : utilisation des bases de CRITER



# Fonctionnement de l'outil



- Outil sous la forme d'un script R
  - Importe les données d'entrée d'une feuille Excel
  - Importe les tables de paramétrage (culture, PRO, données éco...)
  - Génère les fichiers d'entrée d'AMG et STICS, puis lance les simulations (invisible pour l'utilisateur)
  - Calcule les différents indicateurs
  - Produit des tables de résultats et des graphiques
- Interface plus poussée en réflexion selon les besoins
- Diffusion de l'outil en réflexion (droits sur AMG...)

# Aperçu de la feuille de saisie des ITK



			cult1	cult2	cult3	cult4	cult5	cult6
<b>Culture</b>			colza	repousses colza	ble tendre hiver	ble tendre hiver	legumineuses	orge printemps
<b>AB</b>			non	non	non	non	non	non
<b>Rendement</b>			40	1	90	85	2	75
<b>Travail du sol</b>	Tavail 1	Date	20/07/2019	16/07/2020	25/09/2020	20/08/2021	20/08/2021	15/12/2021
		Type	dechaumage dents	dechaumage dents	labour	dechaumage dents	dechaumage dents	labour
		Profondeur (cm)	10	10	25	10	10	25
	Tavail 2	Date	15/08/2019	20/08/2020	12/10/2020	25/09/2021	01/11/2021	20/02/2023
		Type	labour	dechaumage dents	dechaumage dents	labour	broyage	dechaumage dents
		Profondeur (cm)	25	10	10	25	1	10
	Tavail 3	Date	20/08/2019			12/10/2021		
		Type	dechaumage dents			dechaumage dents		
		Profondeur (cm)	10			10		
<b>Semis</b>		Date	25/08/2019	16/07/2020	15/10/2020	15/10/2021	25/08/2022	25/02/2023
		Outil	semoir cereales		semoir cereales	semoir cereales	semoir cereales	semoir cereales
<b>Fertilisation &amp; amendement organique</b>	Action 1	Date	20/08/2019				15/09/2022	
		Type	refus lisier de porc				compost dechets verts	
		Outil	epandeur PRO solide				epandeur PRO solide	
		Dose (t/ha)	7.2				25	
	Action 2	Date						
		Type						
Outil								
		Dose (t/ha)						
<b>Fertilisation &amp; amendement minérale</b>	Action 1	Date	15/02/2020		15/02/2021	15/02/2022		01/03/2023
		Type	ammo 33.5		ammo 33.5	ammo 33.5		ammo 33.5
		Outil	epandeur engrais solide		epandeur engrais solide	epandeur engrais solide		epandeur engrais solide
		Dose (kg/ha)	200		120	120		120
	Action 2	Date	15/02/2020		15/02/2021	15/02/2022		15/04/2023
		Type	ammo 33.5		ammo 33.5	ammo 33.5		ammo 33.5
		Outil	epandeur engrais solide		epandeur engrais solide	epandeur engrais solide		epandeur engrais solide
		Dose	200		300	300		200
	Action 3	Date			15/02/2021	15/02/2022		
		Type			ammo 33.5	ammo 33.5		
		Outil			epandeur engrais solide	epandeur engrais solide		
		Dose			120	120		
<b>Récolte (hors prairie)</b>		Date	15/07/2020		15/07/2021	15/07/2022		15/07/2023
		Outil	moissonneuse batteuse		moissonneuse batteuse	moissonneuse batteuse		moissonneuse batteuse
<b>Restitutions</b>			pailles	plante entiere	pailles	pailles	plante entiere	pailles

# Plan



Contexte du développement de l'outil

Indicateurs retenus et exemples d'application

Conclusion

# Conclusion



- Nécessité de développer un nouvel outil pour évaluer les systèmes avec PRO
- Outil basé sur des modèles et formalismes existants
- Principales fonctionnalités et paramétrages quasi-terminés, mise en forme à finaliser, validation en cours
- Des nouveaux indicateurs à intégrer (biologie du sol, pH, compaction, autres contaminants...)
- Usage interne ECOSYS dans un 1<sup>er</sup> temps. Quelle diffusion par la suite ?
- Intégration progressive dans MAELIA pour évaluation de scénarios spatialisés prenant en compte les règles de décision des acteurs et le fonctionnement des filières PRO

# Merci de votre attention



- Andriulo, A., Mary, B., Guerif, J., 1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agron. Sustain. Dev.* 19, 365–377.
- Bockstaller C., Girardin P., 2008. Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode INDIGO®; p. 115.
- Bockstaller, C, M. Cariolle, M.-B. Galan, L. Guichard, C. Leclercq, A. Morin, and Surleau-Chambenoit, 2013. Evaluation Agri-Environnementale et Choix Des Indicateurs : Acquis, Enjeux et Pistes. *Innovations Agronomiques*, no. 31: 1–14.
- Brisson, N., Launay, M., Mary, B., Beaudoin, N., 2008. Conceptual Basis, Formalisations and Parameterization of the STICS Crop Model, Editions Quae. ed.COMIFER, 2013)
- 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, octobre 2014.
- Levavasseur F., Mary B., Houot S., 2018a. Décrire l'incorporation des produits résiduaire organiques à la matière organique du sol. Colloque « Valoriser plus de biomasses agricoles dans les filières de la bioéconomie et stocker du carbone dans les sols : est-ce compatible ? ». Paris, 7 décembre 2018
- Levavasseur, F., B Mary, and S. Houot, 2018b. Effects of Improved Parameterization of STICS Model to Simulate the C-N Dynamics in a Long-Term Field Experiment with Organic Amendments. Geneva, Switzerland, 2018.
- Obriot, F., Stauffer, M., Goubard, Y., Cheviron, N., Peres, G., Eden, M., Revallier, A., Vieublé-Gonod, L., Houot, S., 2016. Multi-criteria indices to evaluate the effects of repeated organic amendment applications on soil and crop quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 232, 165–178.
- Parnaudeau, V., R. Reau, and P. Dubrulle., 2012. Un Outil d'évaluation Des Fuites d'azote Vers l'environnement à l'échelle Du Système de Culture: Le Logiciel Syst'N. *Innovations Agronomiques* 21: 59–70.
- Rawls WJ, Pachepsky YA, Ritchie JC, Sobecki TM, Bloodworth H (2003) Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* 116(1–2):61–76. doi:10.1016/s0016-7061(03)00094-6
- Rémy J.C., Marin-Lafèche A., 1974- L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. *Ann. Agron*, 25 : 607-632.