



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

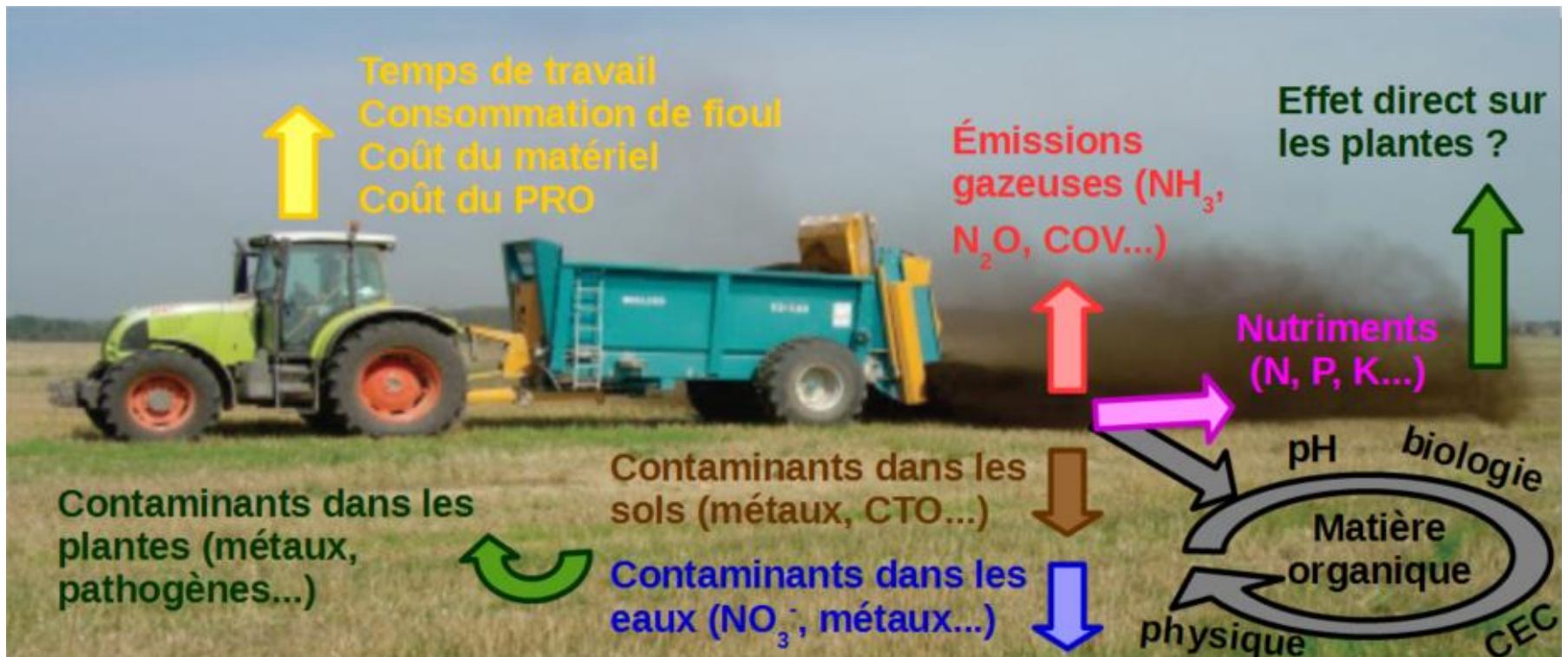
Indicateurs retenus et exemples d'application

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^{er} temps) et conseil agri (2^e 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

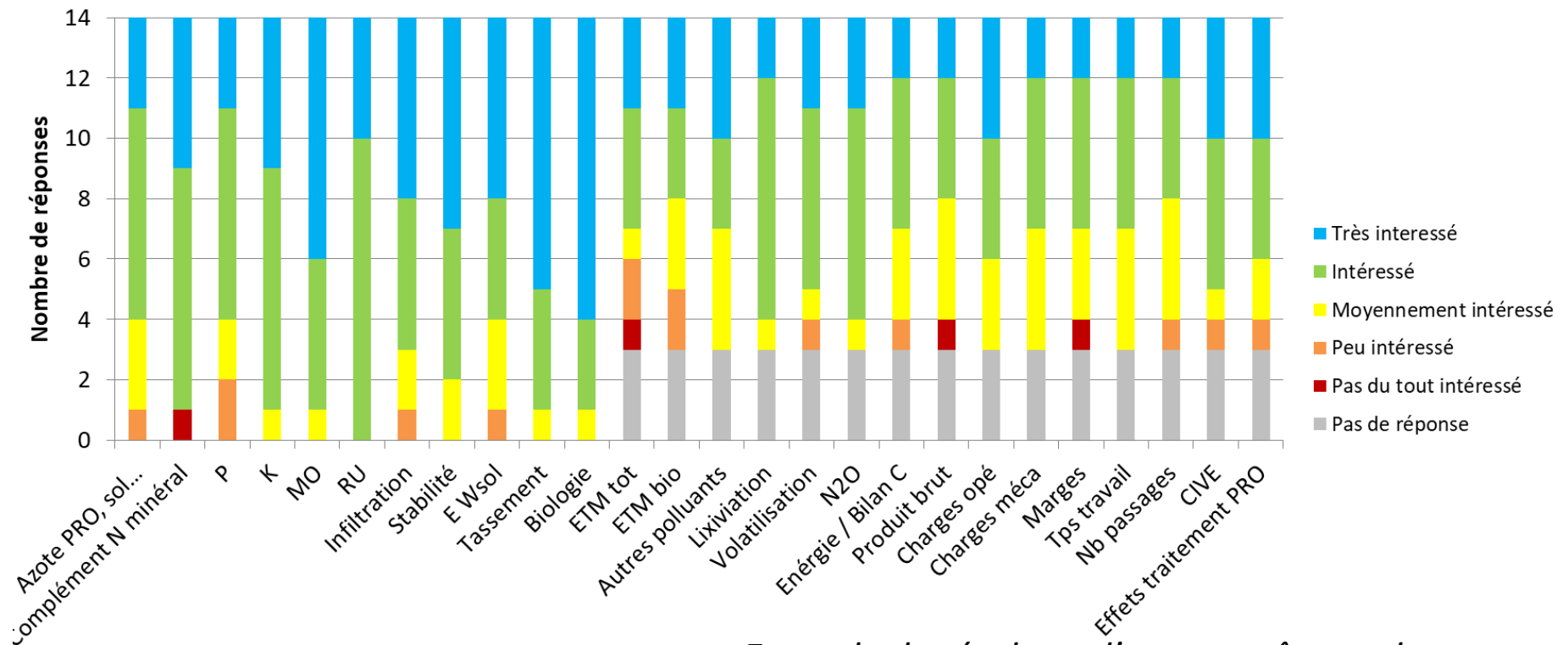


- 1) Identifier les effets des PRO à considérer (enquêtes, littérature)
- 2) Identifier les indicateurs traduisant ces effets (littérature, sollicitation d'experts)
- 3) Identifier des formalismes robustes déjà validés permettant de calculer ces indicateurs
- 4) Agréger ces formalismes dans un outil 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, complémenté en engrais minéraux**

Simulation du carbone du sol

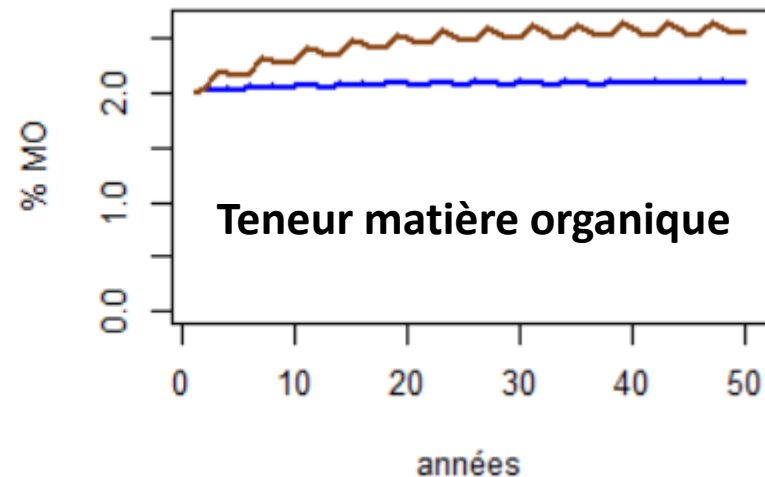
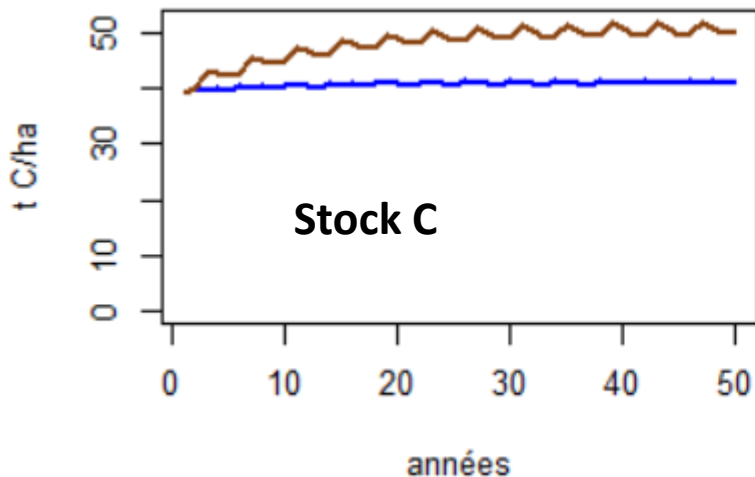


- Modèle AMG (*Andriulo et al., 1999*) pour prédire l'effet à long terme des SDC sur la matière organique du sol
- Modèle robuste, validé sur une large gamme de SDC, y compris avec PRO (*Levavasseur et al., 2018a*)
- Paramétrage des PRO avec ISMO (coefficient isohumique) et teneur C moyenne (ESCO MAFOR,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



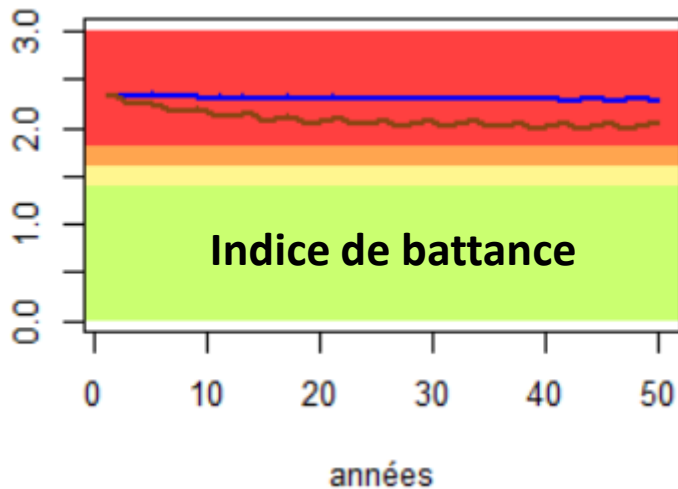
Fertilité physique



- 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*)

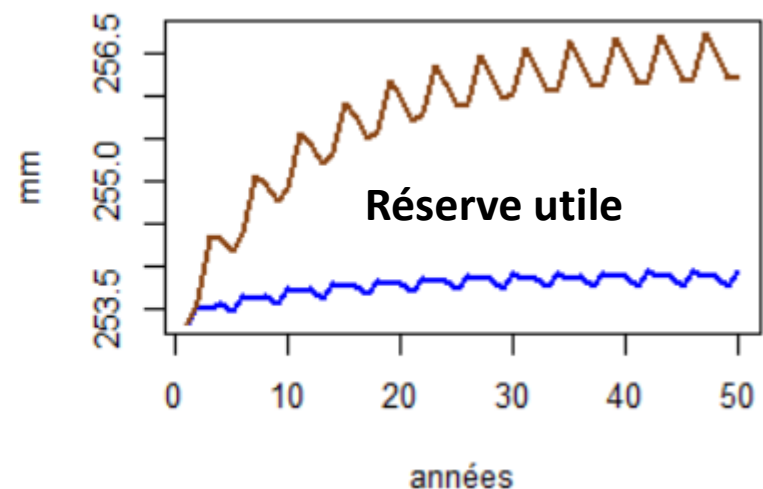
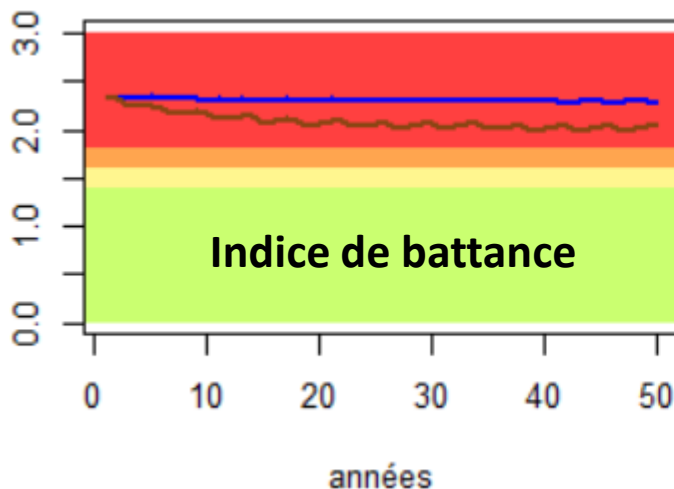
$$IB = (1.5 LF + 0.75 LG) / (A + 10 MO) - \max(0, 0.2 (pH - 7))$$

< 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*)

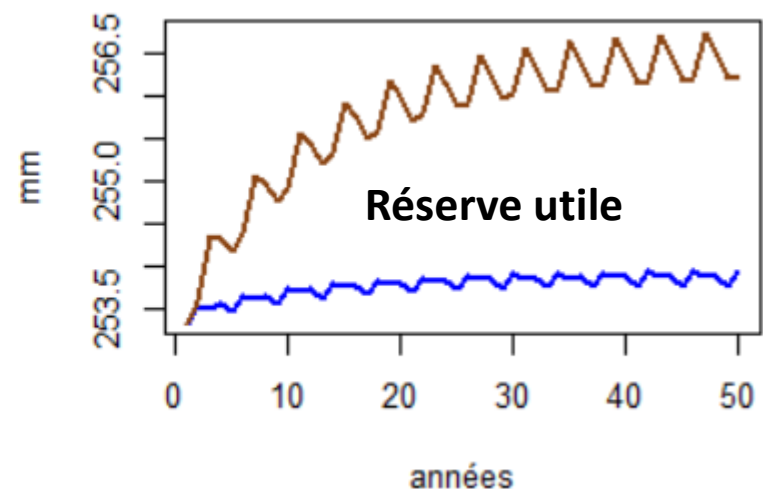
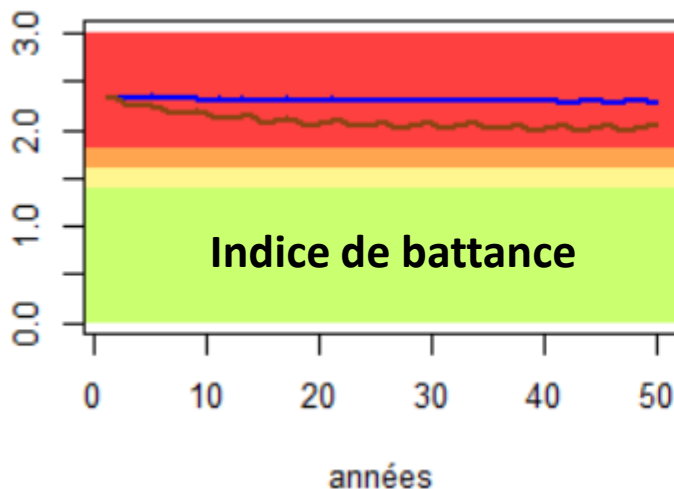
$$IB = (1.5 LF + 0.75 LG) / (A + 10 MO) - \max(0, 0.2 (pH - 7))$$

< 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*)

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

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



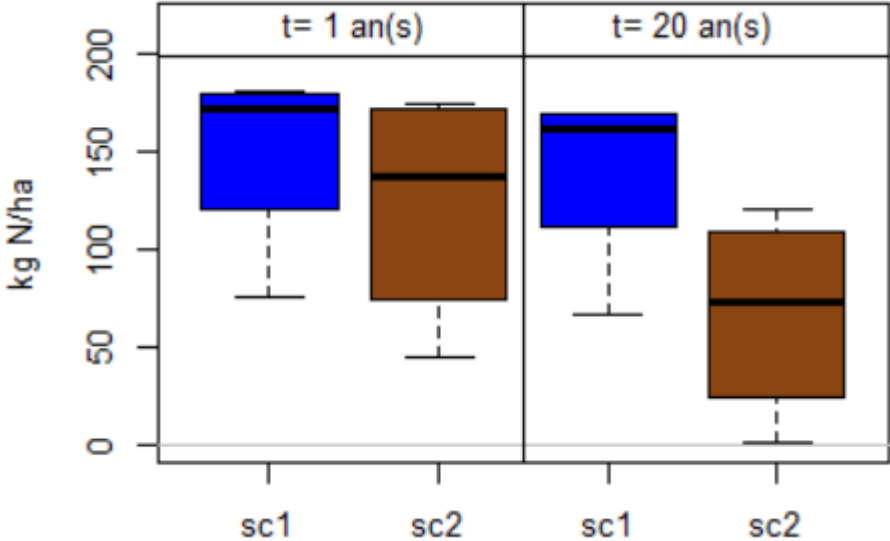
- Autres indicateurs à l'étude (compaction, énergie pour travailler le sol, infiltration, jours trafficables disponibles...)

Simulation du bilan en N



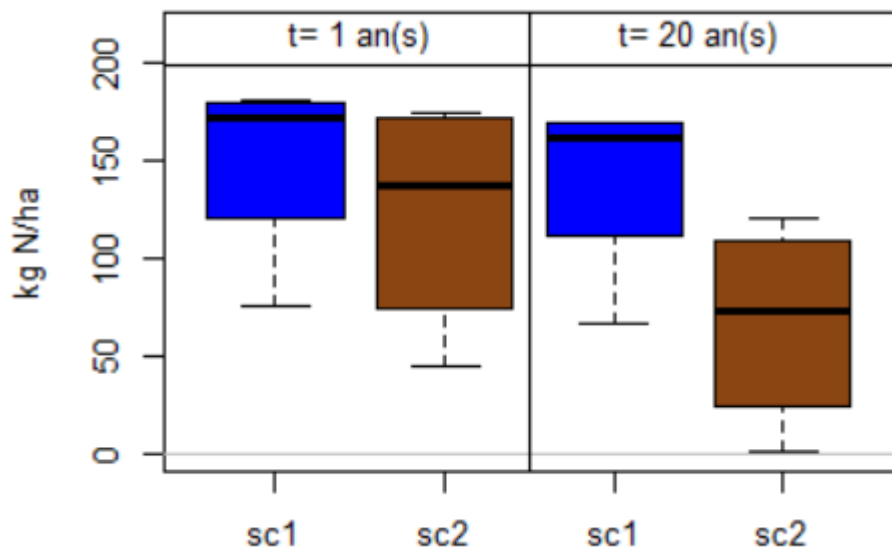
- Equation du bilan N adaptée du COMIFER (*COMIFER, 2013*)
$$\text{Dose N} = \text{Besoin N} - (\text{N minéral sol initial} + \text{minéralisation } N_{\text{org}} \text{ sol} + \text{minéralisation } N_{\text{org}} \text{ résidus (PRO, pailles...)} + \text{N minéral PRO} + \text{Npluie} + \text{Nirrigation} - \text{pertes N})$$
- 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

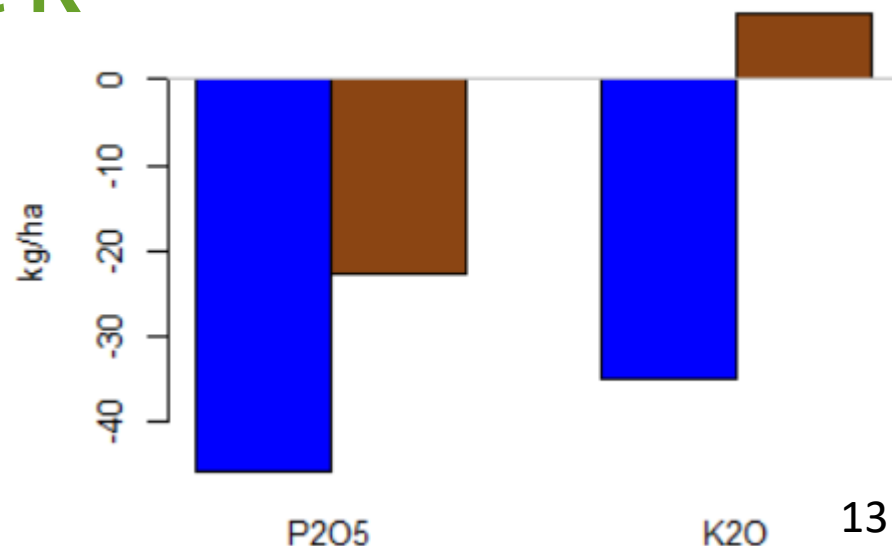


Besoin moyen
annuel en N

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

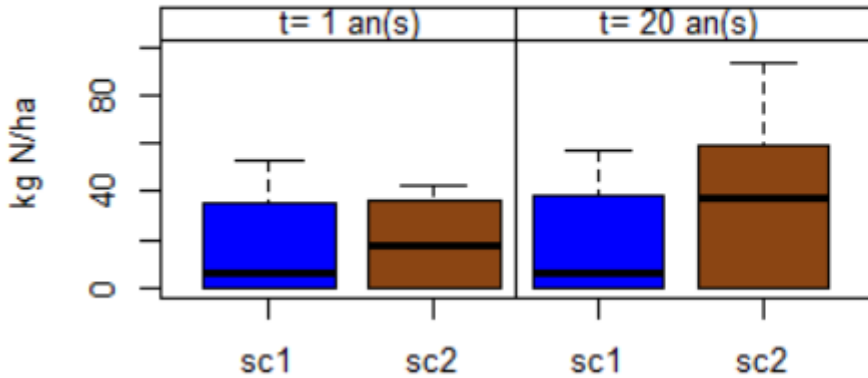


Simulation des pertes en N

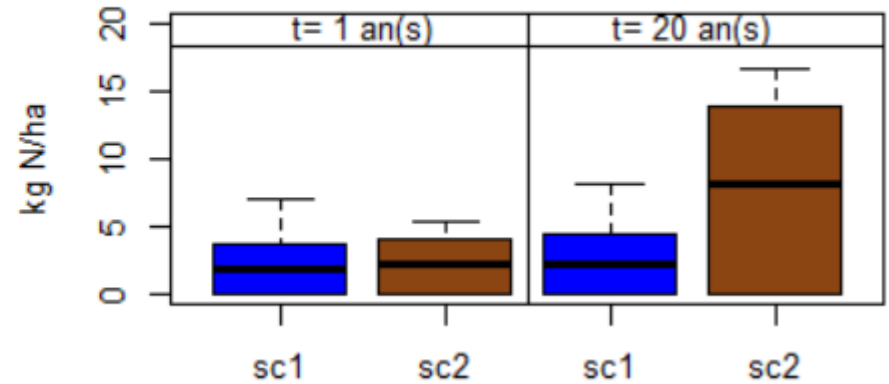


- Simulées avec STICS également

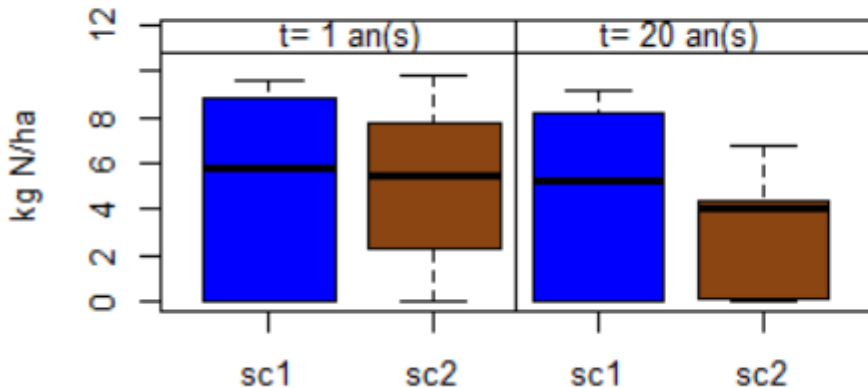
Reliquat entrée hiver moyen



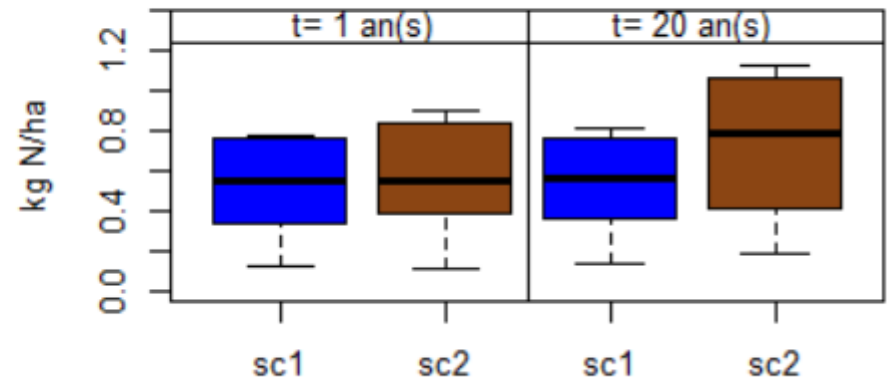
N lixivié



Volatilisation ammoniac



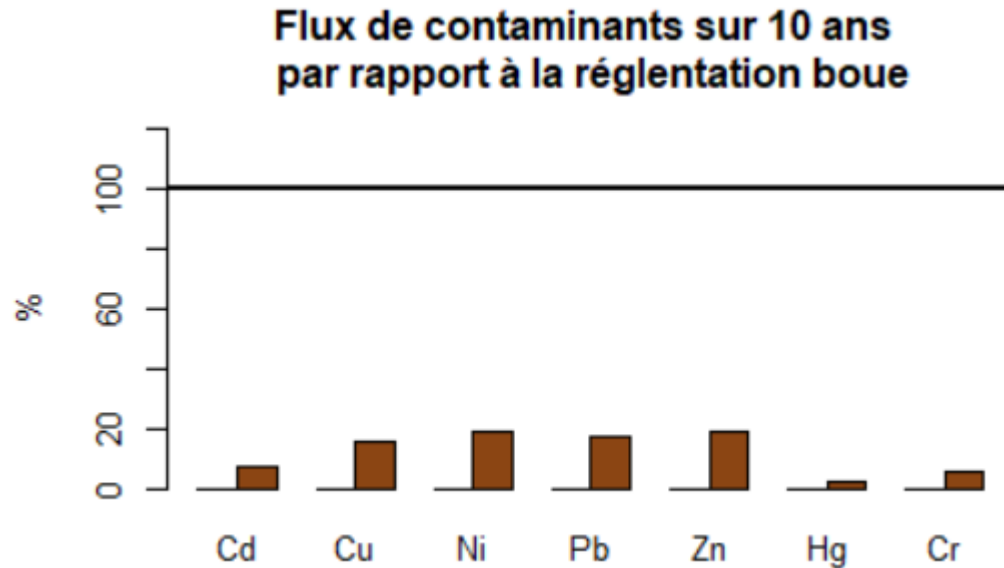
émission N2O



Contaminants



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

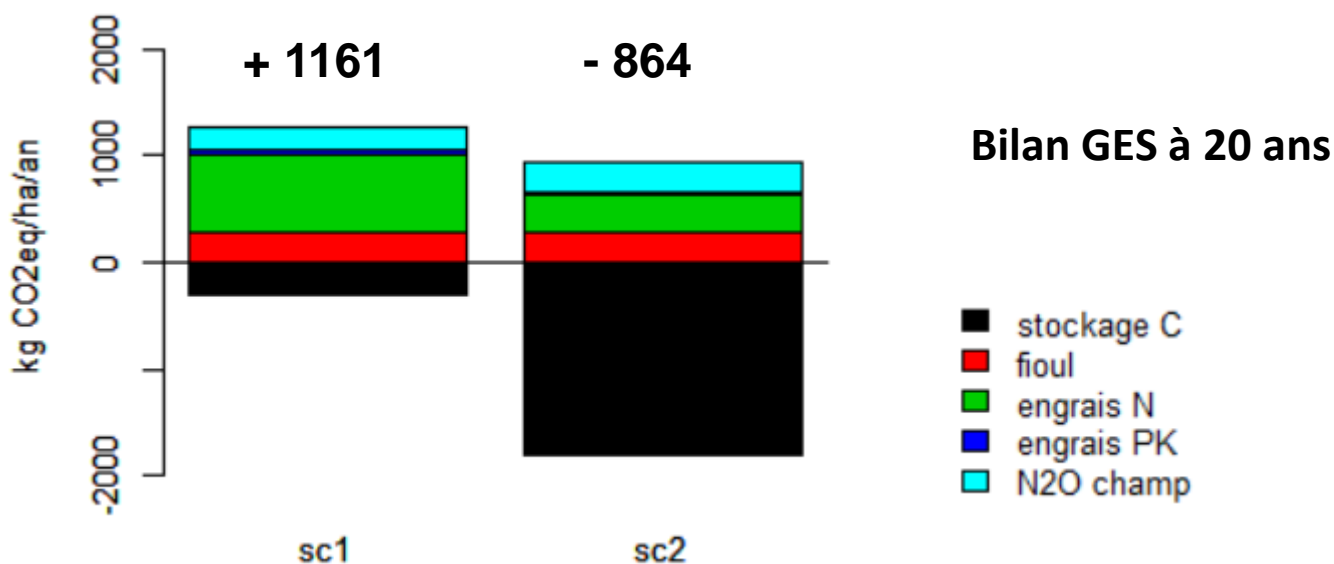


- Apports ETM des engrais à considérer
- Autres indicateurs ETM (PNEC...) et autres contaminants à termes ?

Bilan énergie et GES



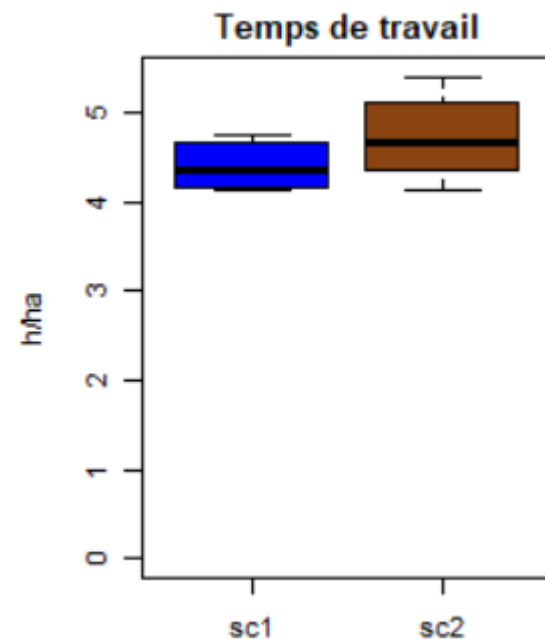
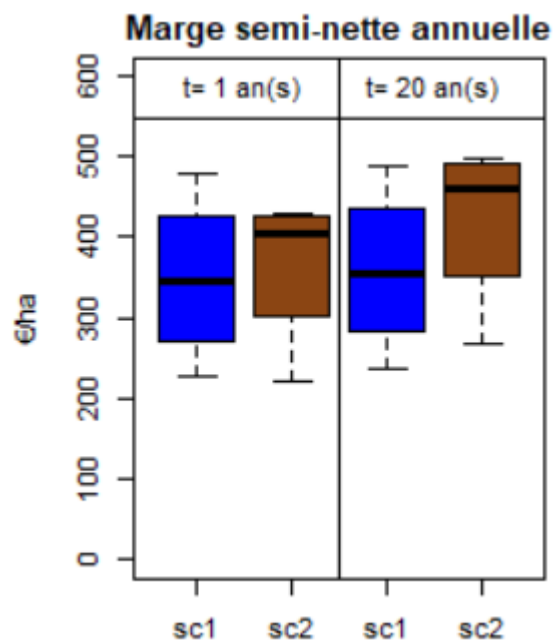
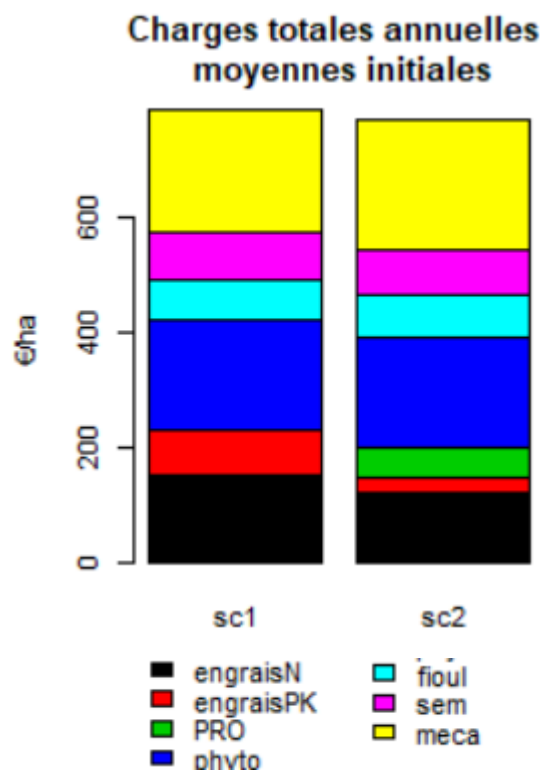
- Réalisation d'un bilan GES :
 - Stockage de carbone
 - Emissions de N₂O au champ
 - Emissions liées à la fabrication des engrais N, P et K
 - Emissions liées à la combustion de fioul par le matériel agricole (base de données de CRITER)
- ⚠ En cours de développement, à valider / finaliser
- Inclusion 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
Culture			colza	repousses colza	ble tendre hiver	ble tendre hiver	legumineuses	orge printemps
AB			non	non	non	non	non	non
Rendement			40	1	90	85	2	75
Travail du sol	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		
Semis		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
Fertilisation & amendement organique	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)						
Fertilisation & amendement minérale	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		
Récolte (hors prairie)		Date	15/07/2020		15/07/2021	15/07/2022		15/07/2023
		Outil	moissonneuse batteuse		moissonneuse batteuse	moissonneuse batteuse		moissonneuse batteuse
Restitutions			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^{er} 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.