



Assemblée générale du SOERE PRO

*Jeudi 13 octobre 2016
Saint Rémy lès Chevreuse*





Assemblée générale du SOERE PRO

Jeudi 13 octobre 2016, Saint Rémy lès Chevreuse



Évaluation multicritère du retour au sol des PRO : apports et limites des différentes approches

Florent Levavasseur¹, Angel Avadi², Olivier Thérond³, Sabine Houot¹

¹ UMR ECOSYS, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval Grignon

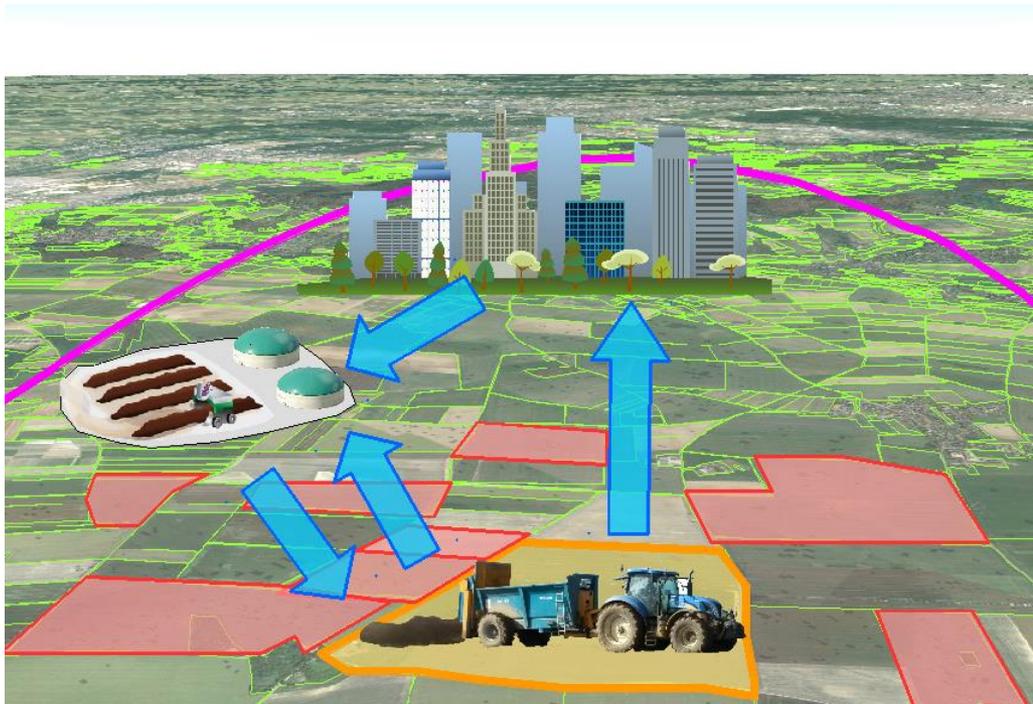
² UR CIRAD, Recyclage et Risque, 34398 Montpellier

³ UMR LAE, INRA, Université de Lorraine, 68000 Colmar

Florent.levavasseur@grignon.inra.fr

Les différentes échelles de l'évaluation

- Épandage d'un PRO sur une **parcelle cultivée**, appartenant à une **exploitation** et à un **territoire** donnés. Épandage prend place dans le cadre d'une **filière** de recyclage du PRO :
 - L'évaluation du retour au sol des PRO peut s'envisager à ces différentes échelles : parcelle, exploitation et territoire, filière.
 - Pour chaque échelle, questionnements plus ou moins distincts



- Grande diversité des méthodes d'évaluation

voir par ex. Bockstaller et al. (2008) pour les systèmes de production végétale

- Diversité d'objectifs : aide à la décision, recherche...
- Evaluation ex ante / ex post
- Diversité d'échelle : unité de base et limites du système, mono-échelle / multi-échelle
- Diversité thématique : environnement, économique, social, mono-thématique / pluri-thématique
- Diversité dans la représentation des processus : modèle à base physique, indicateurs simples ou complexes, de pressions, d'état ou d'effet
- Diversité dans les moyens nécessaires : expertise, temps, coût



- Constat : La diversité des questionnements et des méthodes rend difficile une appréciation de l'intérêt du retour au sol des PRO, ainsi que l'optimisation de ce retour au sol.
- Objectifs de l'intervention : dresser un panorama des questions qui se posent à chaque échelle et des méthodes d'évaluation utilisables pour y répondre

- Contexte
- Questionnement et méthodes d'évaluation par échelle
 - Échelle parcellaire
 - Échelle de l'exploitation et du territoire
 - Échelle de la filière
- Conclusion

- Echelle des sites expérimentaux du SOERE
- Principales questions posées :
 - Impact des PRO sur la fertilité du sol
 - Fourniture en éléments fertilisants, pour quel rendement ?
 - Contamination des sols / appréhension du lien santé des sols, santé des plantes, santé humaine ?
 - Émissions gazeuses ?
 - Résultat économique à l'hectare ?
 - Evaluation / monétarisation des services écosystémiques ?
 - Court terme / long terme ?

⇒ **Optimisation de l'insertion d'un PRO dans un système de culture ?**

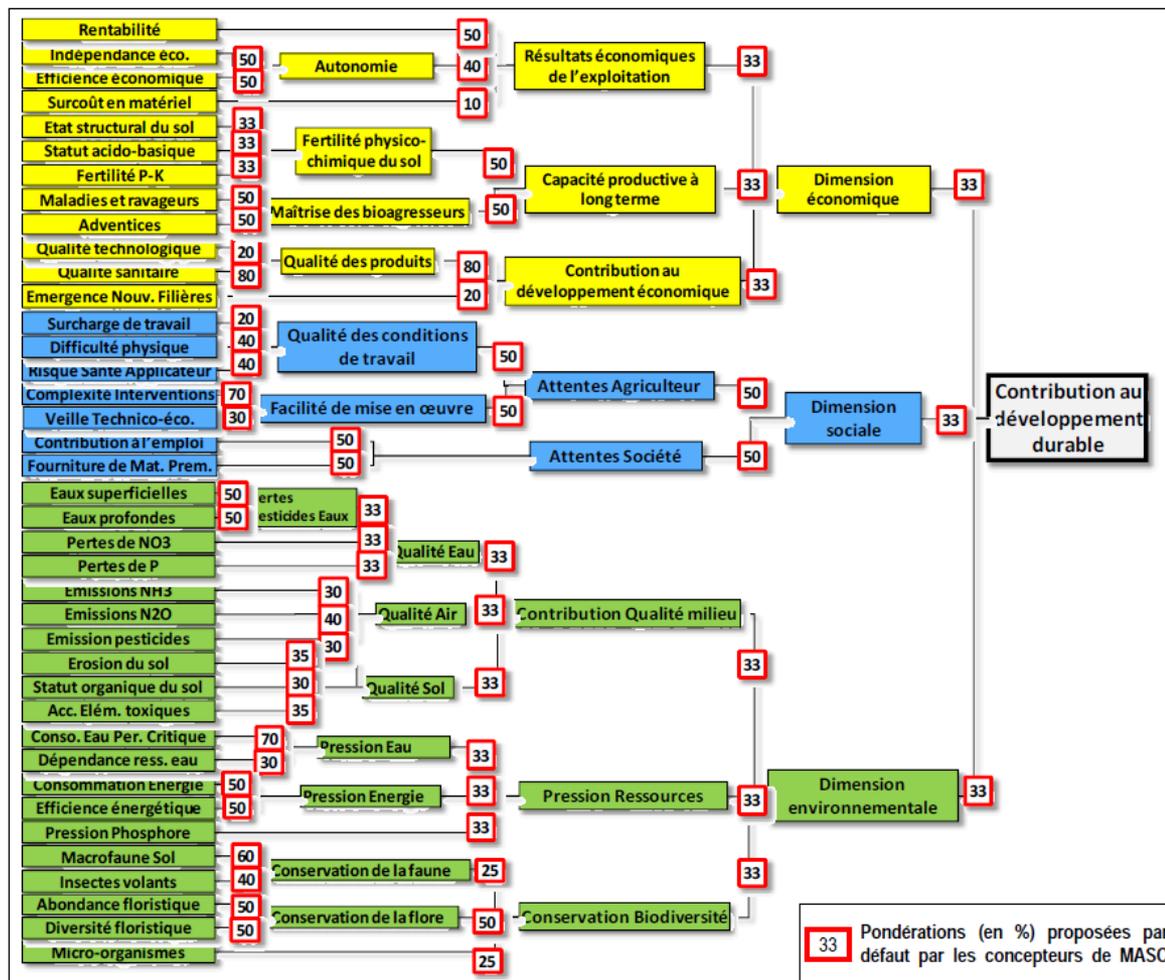
- Principales méthodes utilisables :
 - Evaluation multi-critère : CRITER, Persyst, SYSTERRE...
 - Modèle de culture : STICS, CERES-EGC...
 - Association de modèles monocritères : AMG + SYSTN...

Évaluation multicritère des systèmes de culture

- **Principe / intérêts** : toute la gamme de la durabilité (éco, env., socio), indicateurs simples et robustes, facilité de mise en œuvre, agrégation ou non

- **Limites** : choix des indicateurs et de la pondération, représentation simpliste des processus (bilan...), peu (ou pas ?) de modèle avec évolution de la MO du sol, modélisation du rendement délicate, contaminants / santé non considérés

- **Perspectives** : intégration de nouveaux indicateurs / amélioration des existants ?



Arborescence du modèle MASC (Craheix et al., 2012)

Évaluation multicritère des systèmes de culture

Technico-économique

Rendement (qx/ha)	30
Marge semi-nette (€/ha/an)	213
Charge de travail (h/ha/an)	4,96
Nombre de passages	19,1

Azote

Dose N totale (kg N/ha)	190
Reliquat Début Drainage (kg N / ha)	82
Pertes (kg N / ha)	55

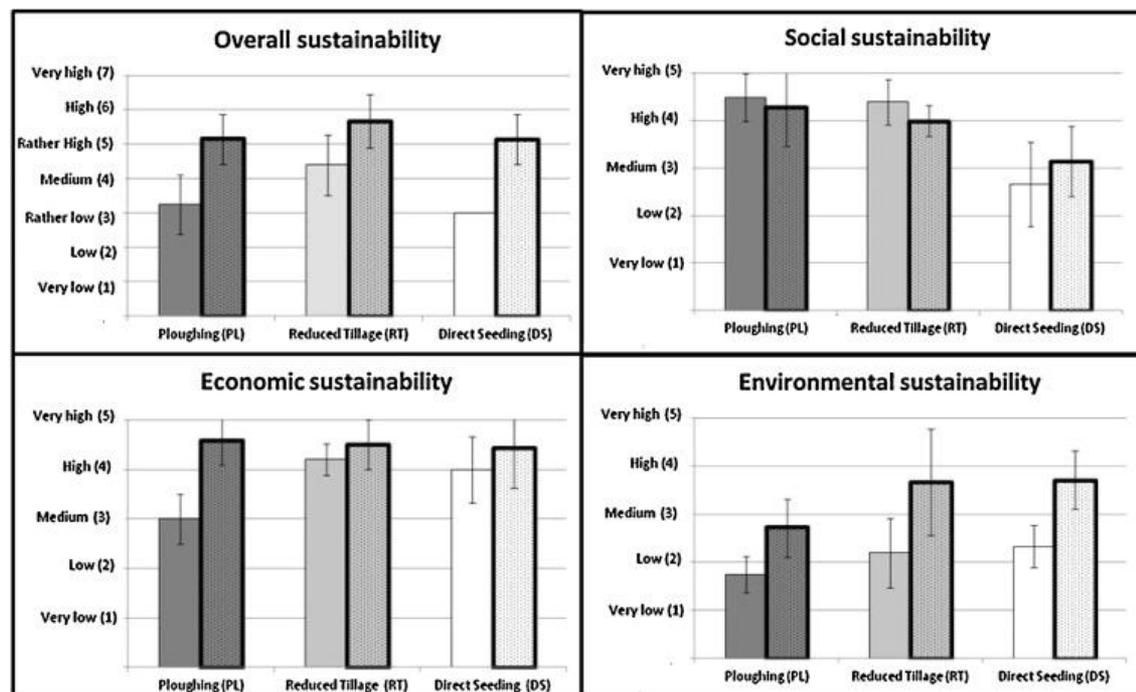
Phyto

IFT herbicide	2,4
IFT total	10,7
I-Phy	6,9

Autres

Volume d'eau d'irrigation	0
Conso énergie – méca (GJ / ha / an)	3,54
Conso énergie – engrais + phyto (GJ / ha / an)	13,26

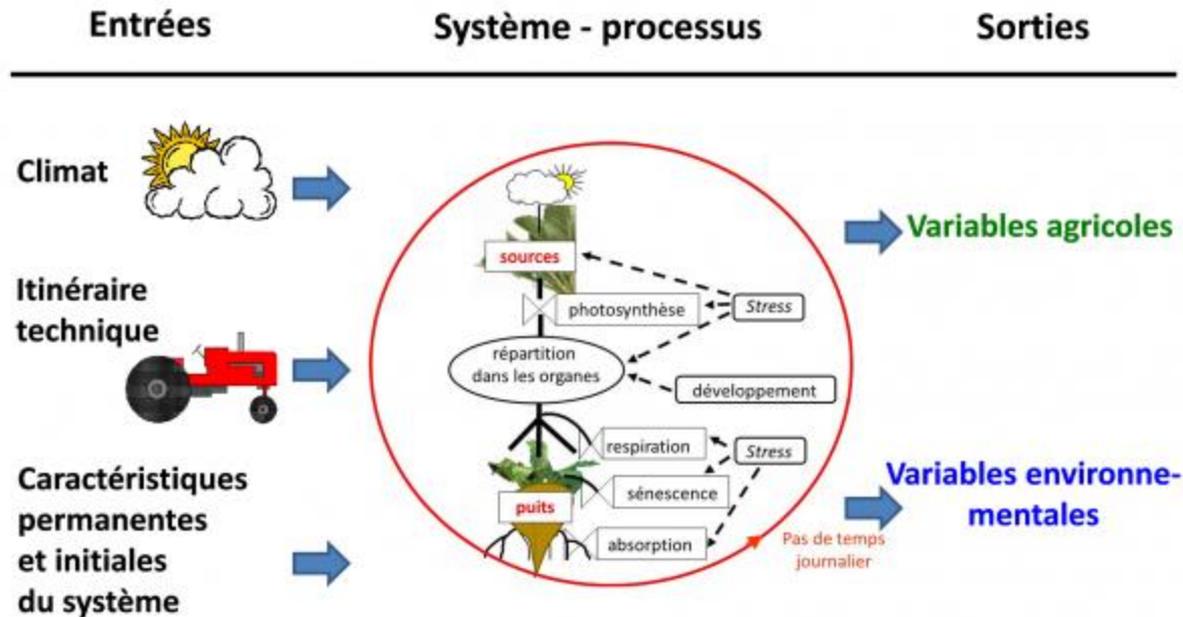
Indicateurs de performances d'un colza sur groies superficielles évalués avec CRITER (aire de captage du Vivier)



Score de durabilité de différents systèmes de culture évalué avec MASC / CRITER (Craheix et al., 2012)

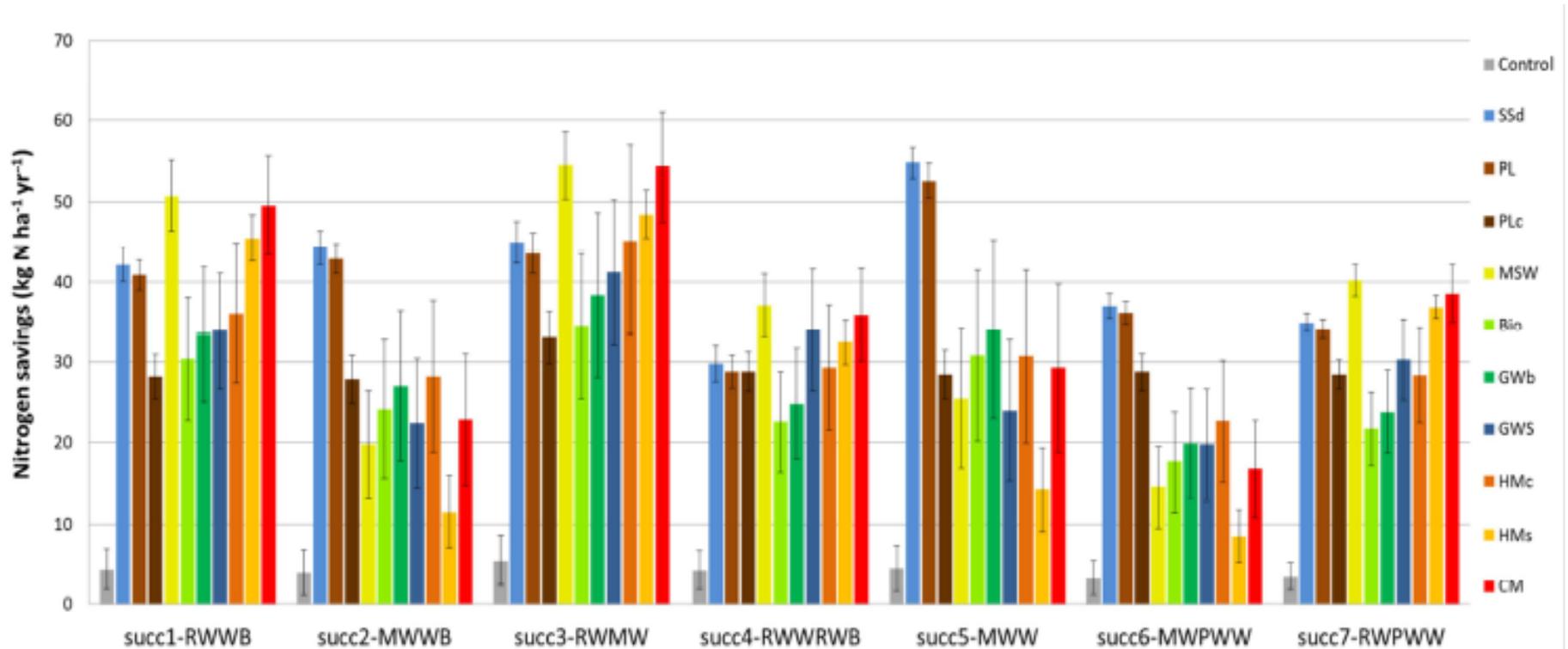
Évaluation avec un modèle de culture

- **Principe / intérêts** : Modélisation fine journalière des processus et de leurs interactions (croissance plante, cycle eau, C et N couplés), sensibilité aux pratiques et au milieu, effet à court/long terme
- **Limites** : pas socio-éco ni contaminants, complexité du paramétrage
- **Perspectives** : pré-paramétrage des modèles par région agricole pour faciliter l'usage en mode diagnostique, couplage avec d'autres indicateurs/modèles pour les thématiques non abordées dans le cadre de plateformes de modélisation



Principe de fonctionnement de STICS
(<http://www6.paca.inra.fr/stics>)

Évaluation avec un modèle de culture



Économie d'engrais minéral azoté pour différents systèmes avec PRO, modélisés avec le modèle CERES-EGC (Noirot-Cosson., 2016)

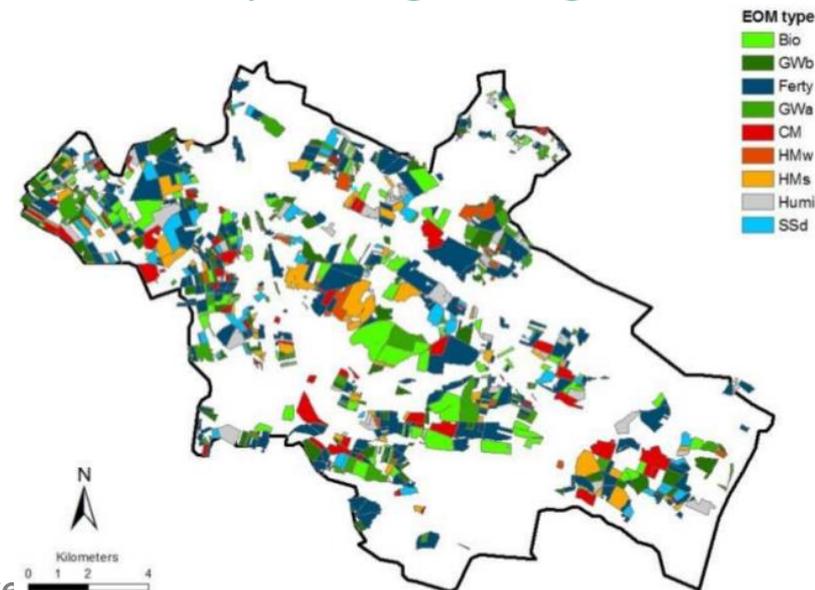
- Mêmes questions qu'à l'échelle parcellaire, mais aussi :
 - Diversité et représentation des systèmes de culture, du milieu (sols...) ?
 - Prise en compte des moyens / contraintes des exploitations (temps, matériel...)
 - Répartition des PRO, concurrence entre PRO, logistique ?
 - Potentiel de recyclage d'un PRO sur un territoire ?
 - Bouclage des cycles biogéochimiques d'un territoire ?
 - Réaction des acteurs (au climat, aux coûts...) ?
 - Transferts horizontaux (hydrologie) ?

⇒ Optimisation de la répartition spatiale des systèmes de cultures/PRO ?

- Principales méthodes utilisables :
 - Représentation spatiale des systèmes de culture (RPG, enquêtes, télédétection...)
(Murgue et al., 2016)
 - Modélisation agro-hydrologique (SWAT), couplage de modèle (STICS+MODCOU, Nitroscape)
 - Modélisation multi-agents (plateforme MAELIA, outil UPUTUC...), couplée à des modèles biophysiques

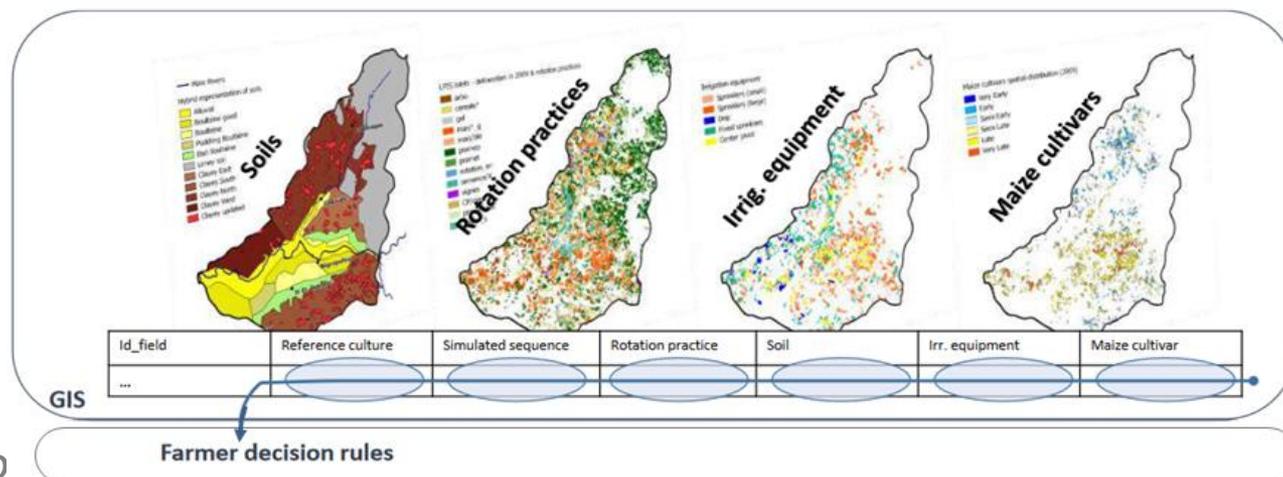
- **Principe / intérêts :**
 - Modélisation à base physique des processus à la parcelle
 - Spatialisation des systèmes de culture et du milieu (sols...)
 - Possibilité d'optimiser la répartition spatiale des SdC
- **Limites :** complexité du modèle, besoin en données, pas de transferts horizontaux, thématiques non abordées (éco, odeurs, contaminants...), systèmes de cultures figés dans le temps
- **Perspectives :** pré-paramétrisation du modèle par région agricole, couplage avec d'autres modèles

*Optimisation de la répartition des systèmes de culture avec PRO en plaine de Versailles pour maximiser le stockage de carbone
(Noirot-Cosson, 2016)*



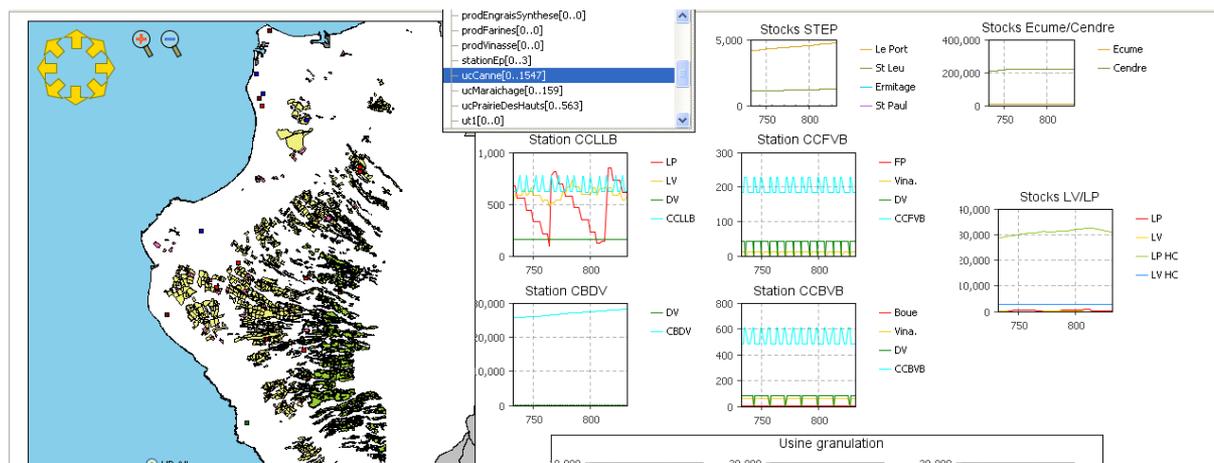
- **Principe / intérêts :**
 - Modélisation à base physique des processus à la parcelle
 - Spatialisation des systèmes de culture et du milieu (sols...)
 - Décision des agriculteurs (modélisation multi-agents)
 - Flux hydrologiques par sous-bassin (modèle SWAT intégré)
- **Limites :** complexité du modèle, besoin en données, orientée gestion de l'eau pour le moment
- **Perspectives :** développement d'une application aux PRO en affinant la représentation des processus associées (rendement, cycle C et N) ?

Représentation des systèmes de culture dans la plateforme MAELIA (adapté de Murgue, 2014)



Exemple de l'outil UPUTUC

- **Principe / intérêts :**
 - Outil développé à l'aide d'AnyLogic, implémenté en Java
 - Modélisation de la logistique de la production, distribution et épandage des MAFOR (modélisation multi-agents) (km parcourus, flux...)
 - Permettant le maintien du détail spatial , ce qui permet d'éviter des problèmes de non-linéarité lié à l'agrégation
- **Limites :** orientée gestion logistique, effets agronomiques non considérés
- **Perspectives :** valorisation de l'outil dans d'autres projets pour mieux prendre en compte l'évaluation environnementale



*Interface de l'outil
UPUTUC - Divers modes
d'interrogation possible
en cours de simulation*

- Mêmes questions qu'à l'échelle précédente mais aussi
 - Optimisation du process de production des PRO
 - pour maximiser les productions (énergie, molécules d'intérêt, matières fertilisantes / amendantes)
 - pour limiter les impacts : émissions gazeuses, consommation d'énergie...
 - Envisager des mélanges de PRO
 - Positionnement par rapport à d'autres filières de recyclage des PRO
- Principales méthodes utilisables : bilan Gaz à Effet de Serre, empreinte écologique, Analyse Coûts Bénéfices (ACB), Analyse du Cycle de Vie (ACV)...

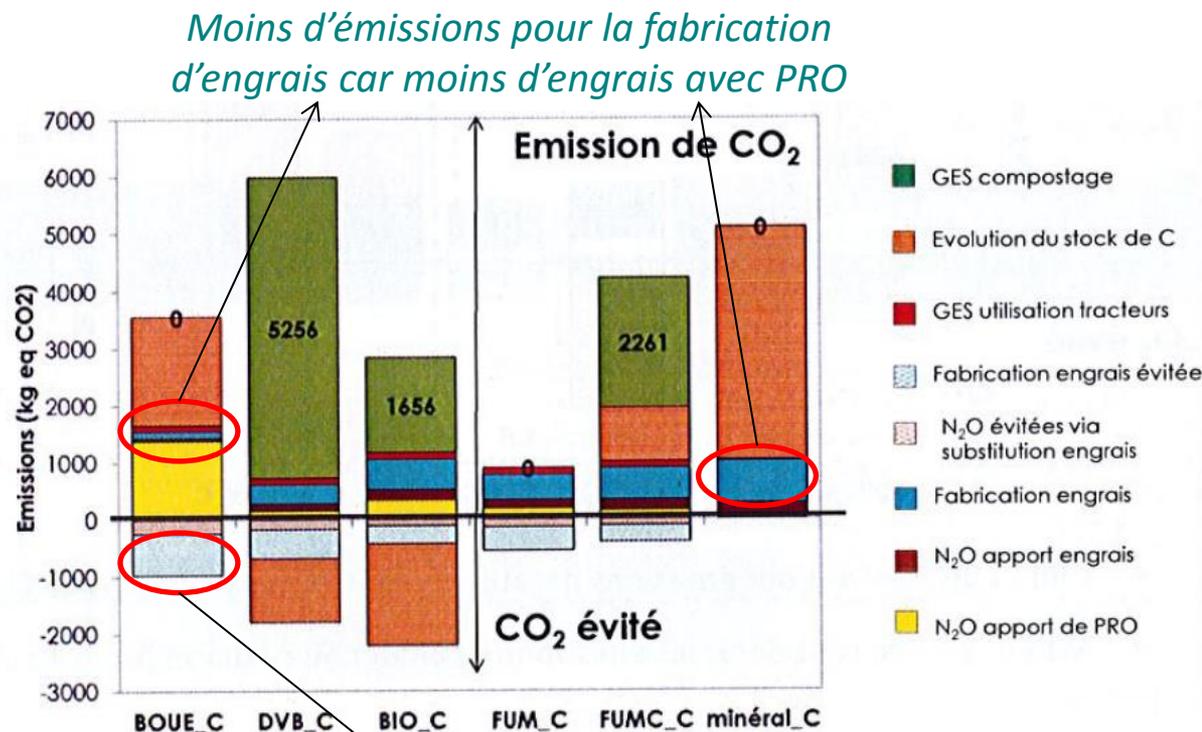
Exemple – bilan carbone

- **Principe** : méthode permettant d'évaluer les impacts d'un système sur le changement climatique, en comptabilisant les émissions de gaz à effet de serre (en équivalent CO₂)
- **Limites** : monocritère, incertitudes dans les bases de données d'émissions, peu ou pas de prise en compte des spécificités locales, définition des limites du systèmes / substitution, spatialisation ?

Exemple de difficulté / principe de substitution :

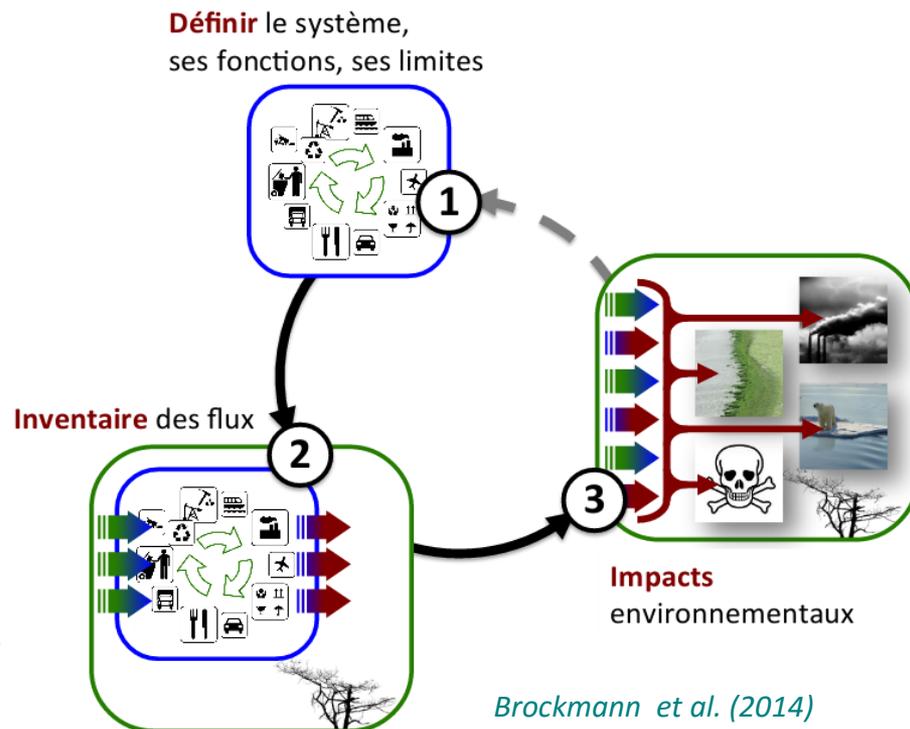
Bilan carbone de systèmes de culture avec ou sans apport de PRO (Obriot, 2016)

Double comptabilisation de la substitution ?



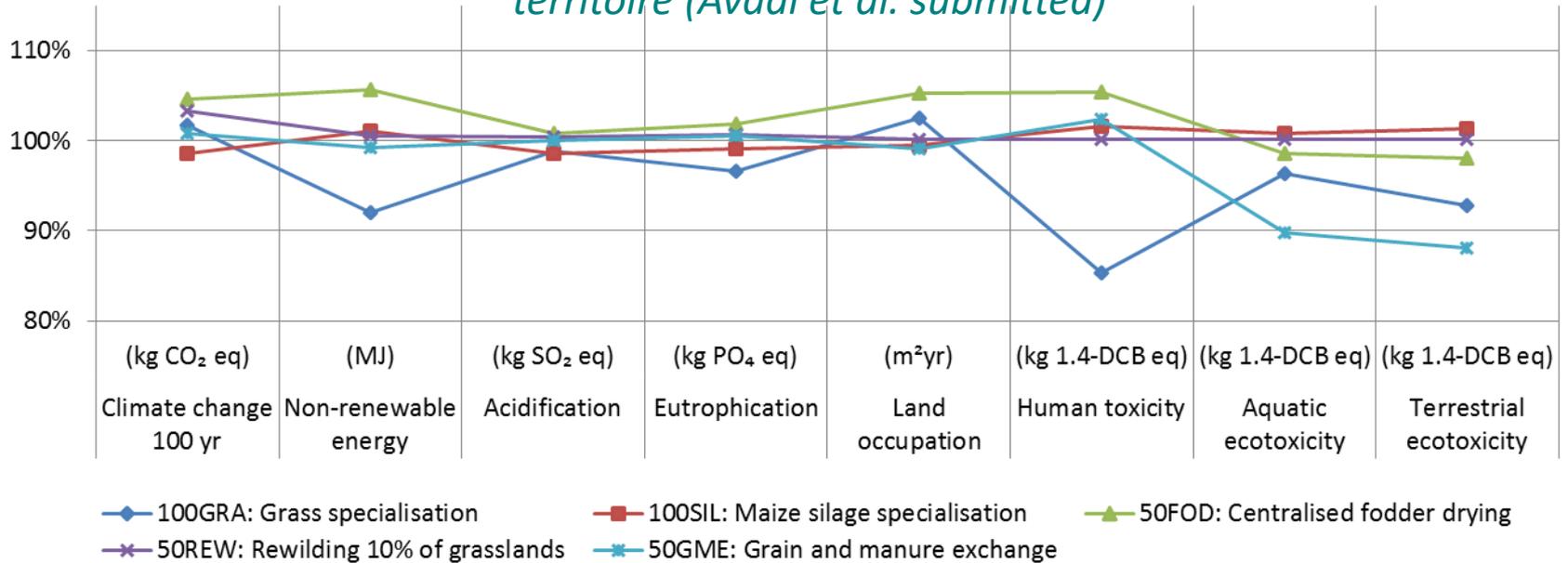
Emissions évitées du fait d'engrais non produits avec PRO

- **Principe / intérêts :**
 - Méthode normalisée, prend en compte les ressources consommées et les émissions associées à un produit tout au long de sa vie
 - Repose notamment sur des bases de données d'inventaire
 - Permet de comparer des filières entre elles, d'identifier les points cruciaux dans la vie d'un produit, de prioriser des interventions



- **Limites :** données et traitement de l'incertitude, simplicité de représentation des processus (émissions, contaminants, équivalence engrais...), évaluation statique et globale, pas d'éléments socio-éco, définition des limites du système.
- **Perspectives :** meilleure représentation des impacts dans les bases, ACV territoriale / régionale (Avadi et al., 2016), spatialisée (Nitschelm et al 2016), temporalisée (Maier et al., 2016)

ACV territoriale : extrapolation à partir des ACV des systèmes présents sur un territoire (Avadí et al. submitted)



ACV spatialisée : spatialiser et différencier les sites des émissions et des impacts (Nitschelm et al. 2016)

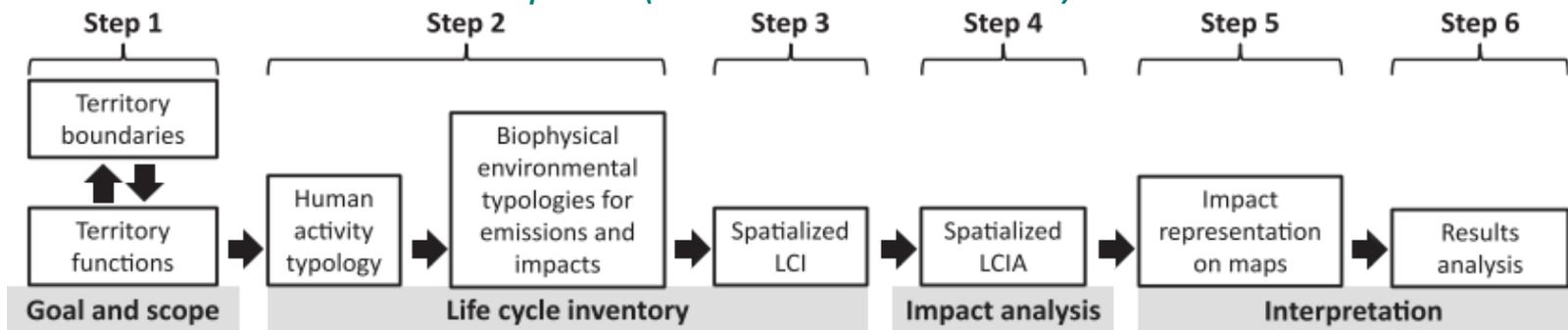


Fig. 1. Steps of spatialized territorial LCA.

- Nombreuses questions pour évaluer le retour au sol des PRO
- Plusieurs niveau d'organisation à prendre en compte pour bien appréhender les enjeux multiples
- Nombreux modèles à l'échelle parcellaire mais besoin de les affiner/combiner
- Possibilité d'intégrer ces modèles à l'échelle territoire dans des plateformes de modélisation pour considérer la variabilité spatiale
- Peut aussi permettre d'intégrer les transferts et les processus de décision des acteurs
- Besoin de considérer toute la filière, les spécificités des territoires, ainsi que la complexité des processus pour statuer sur l'intérêt de la pratique et l'optimiser

Besoin de combiner les différentes approches

- Intégrer les éléments de filière dans l'évaluation territoriale
- Et/ou raffiner les évaluations de filière avec les contextes territoriaux

- Association des acteurs indispensables dans l'évaluation / optimisation
 - Acquisition des données (systèmes de culture, gisement PRO...)
 - Conception de nouveaux systèmes (systèmes de culture, traitement de PRO...)
- Importance des données expérimentales:
 - Sites expérimentaux longue durée pour comprendre les processus, documenter/calibrer les méthodes d'évaluation
 - Réseau de sites plus légers pour diversifier les situations : PRO, sols, systèmes de culture et renforcer le domaine de validité des méthodes d'évaluation

Merci pour votre attention



- Bockstaller C., Galan M. B., Capitaine M., Colomb B., Mousset J., Viaux P. (2008). Comment évaluer la durabilité des systèmes en production végétale ? In R. Reau, and T. Doré, (Eds.), *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer*: Dijon (France), Educagri, p. 29-51.
- Brockmann D., Hanhoun M., Négri O., Hélias A., 2014. Approche environnementale des filières de recyclage. Analyse du cycle de vie d'une filière d'effluent porcin. Séminaire phosphore, Rennes.
- Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T. (2012). MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Innovations Agronomiques*, 20: 35-48.
- Craheix, D., Angevin, F., Doré, T., & de Tourdonnet, S. (2016). Using a multicriteria assessment model to evaluate the sustainability of conservation agriculture at the cropping system level in France. *European Journal of Agronomy*, 76, 75-86.
- Murgue, C., Therond, O., & Leenhardt, D. (2016). Hybridizing local and generic information to model cropping system spatial distribution in an agricultural landscape. *Land Use Policy*, 54, 339-354.
- Noirot-Cosson (2016). Optimisation de l'insertion des Produits Résiduaux Organiques dans les systèmes de cultures d'un territoire francilien: évolution des stocks de carbone organique et substitution des engrais minéraux. Thèse de doctorat d'AgroParisTech.
- Nitschelm L., Aubin J., Corson M.S., Viaud V., Walter C. (2016). Spatial differentiation in Life Cycle Assessment LCA applied to an agricultural territory: current practices and method development. *J. Clean. Prod.*, 112: 2472–2484
- Obriot (2016). Épandage de produits résiduaux organiques et fonctionnement biologique des sols: de la quantification des impacts sur les cycles carbone et azote à l'évaluation multicritère de la pratique à l'échelle de la parcelle. Thèse de doctorat d'AgroParisTech.