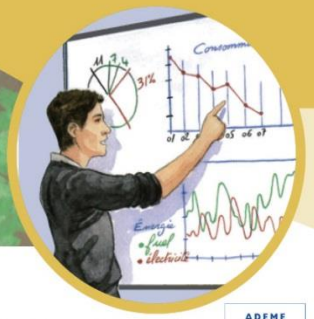
SOLéBIOM /AMG

Conclusions



Sylvain Pellerin, INRA Bordeaux
Sylvie Recous, INRA Reims &
Agrotransfert R&T

Avec le soutien financier

UNION EUROPÉENNE
l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER
Région Hauts-de-France
Picardie Innovations Végétales, Enseignements et Recherches Technologiques
ADEME

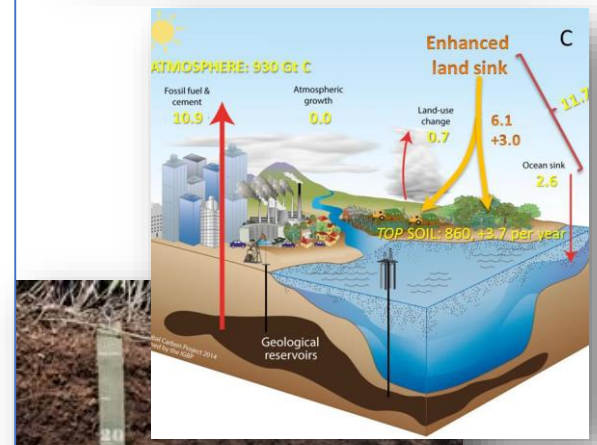
Partenaires scientifiques et techniques

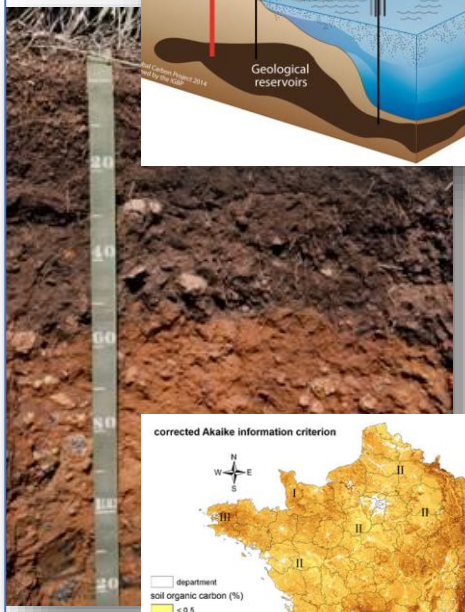
AGROTRANSFERT RESSOURCES ET TERRITOIRES
INRA SCIENCE & IMPACT
Terres Inovia l'agronomie en mouvement
ARVALIS Institut du végétal
LDAR

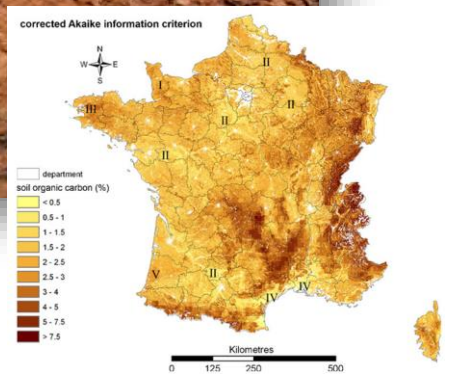
Un projet en cours à l'échelle nationale: l'étude INRA 4 pour mille France (2017-2019)

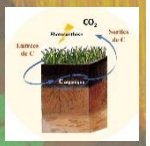
Commanditaires et cadre de mise en oeuvre

- Commande MAA/ADEME
- Format Etude/Expertise INRA DEPE
  - Volet « état des connaissances »
  - Volet « simulations»
- Co-pilotage INRA EA/SAE2 (S Pellerin/ L Bamière)
- 28 experts scientifiques
- Comité technique (experts filières/institut), comité consultatif d'acteurs (stakeholders), comité de suivi (commanditaires)



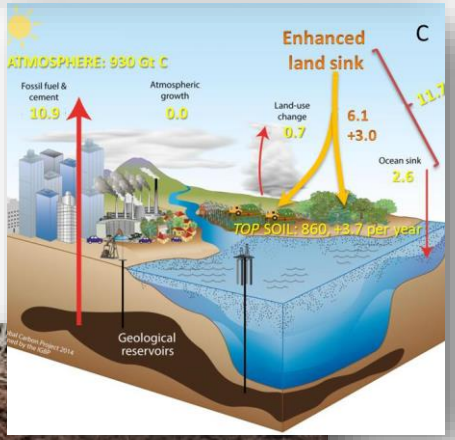


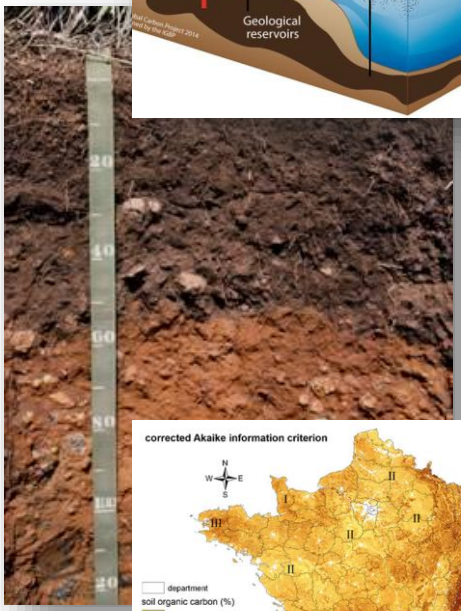


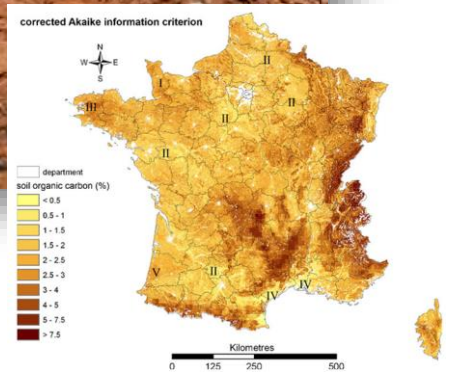


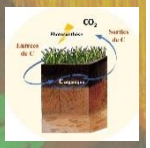
Objectifs de l'étude « 4 pour mille France »

- Identifier des pratiques agricoles/sylvicoles permettant d'accroitre la teneur en C organique des sols français
- Quantifier les potentiels de stockage et les coûts associés, aux échelles régionales et nationales; les cartographier
- Evaluer les effets sur d'autres variables d'intérêt (production, autres GES, bilan hydrique, lessivage nitrates,…)
- Identifier les freins à l'adoption, les mesures incitatives appropriées
- Faire des propositions pour le suivi, le rapportage, la vérification des variations de stocks de C des sols et leur prise en compte dans l'inventaire national
- Identifier/quantifier les synergies / antagonismes avec d'autres politiques publiques





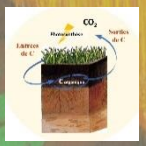




Scientifiques mobilisés

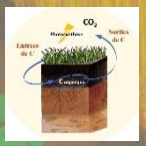
- 2 pilotes scientifiques (S. Pellerin, L Bamière) + 28 experts, dont 19 chercheurs INRA
- Experts sollicités en fonction de leur compétence, dans des disciplines scientifiques nécessaires à la conduite de l'étude:
  - **Processus bio-physico-chimique** de la dynamique des sols
  - **Pratiques** présentant un potentiel pour le stockage de C
    - ✓ **cultures** (cultures intermédiaires, travail du sol, recyclage de résidus et d'effluents d'élevage, agroforesterie, etc.)
    - ✓ **Prairies**
    - ✓ **Forêt**
  - **Spatialisation et modélisation**
  - **Economie** (micro-économie des exploitations agricoles et de l'usage des sols, économie de l'environnement; etc.)

Denis Angers
Jérôme Balesdent
Isabelle Basile-Doelsch
Claire Chenu
Rémi Cardinael
Eric Ceschia
Joel Darroussin
Sabine Houot
Safya Menasseri
Delphine Mézière
Thierry Morvan
Jean Roger-Estrade
Valérie Viaud
Olivier Thérond
François Gastal
Anne Isabelle Graux
Katja Klumpp
Laurent Augusto
Lauric Cecillon
Laurent Saint André
Julie Constantin
Bertrand Guenet
Manuel Martin
Valentin Bellassen
Philippe Delacote
Nathalie Delame
Elodie Letort
Claire Mosnier

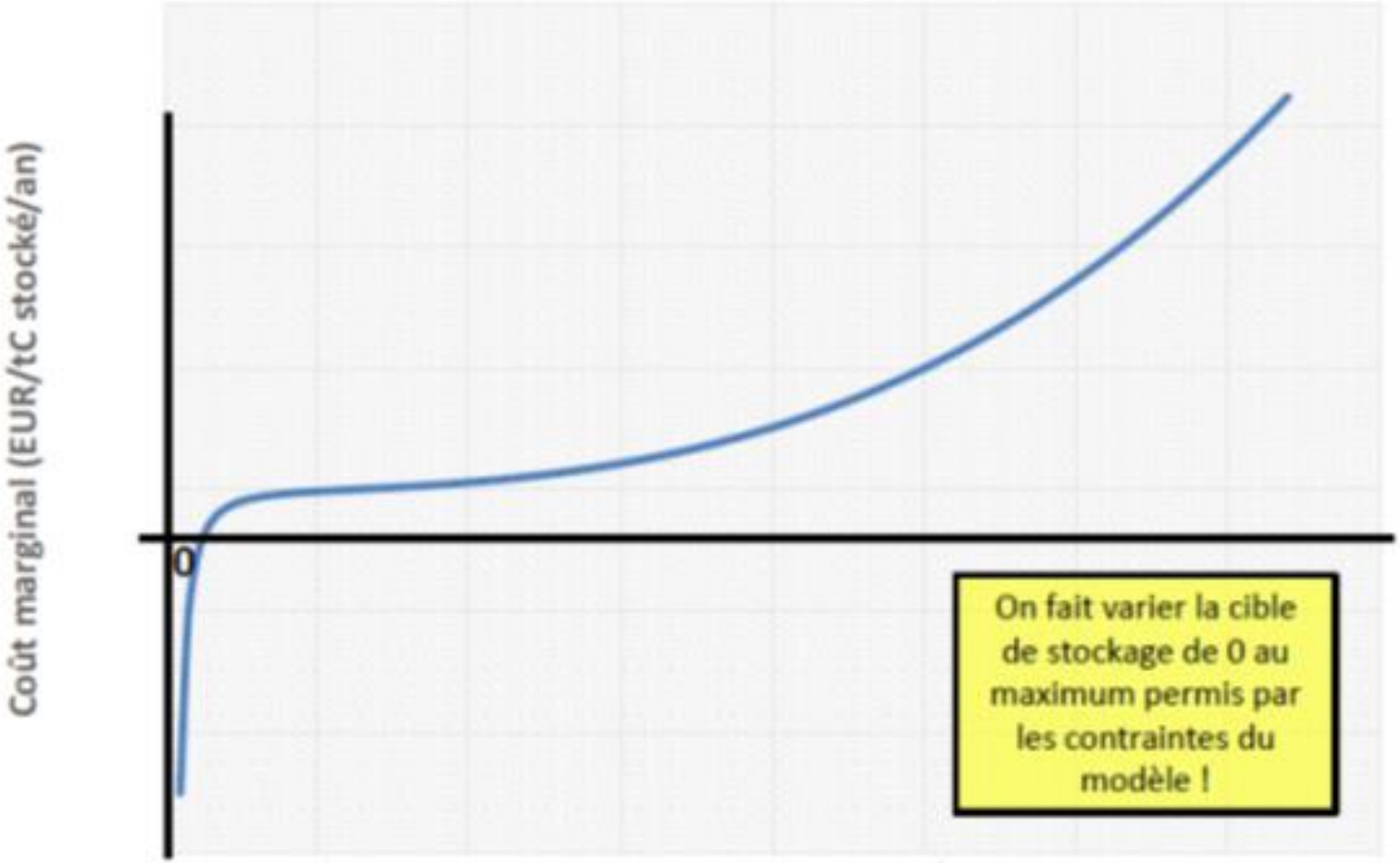


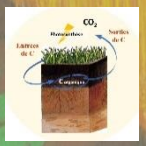
Démarche globale

1. Etat des connaissances sur le stockage de C dans les sols (→ synthèse biblio)
2. Quantification à une résolution spatiale fine des apports additionnels de C nécessaires pour augmenter le stock de C des sols de 4 pour mille par an pendant 30 ans: approche par modélisation réverse (RothC) (→ article en cours)
3. Etude par simulation du potentiel de stockage additionnel lié à l'adoption de pratiques stockantes; calcul du coût associé; calcul du coût par unité de C additionnel stockée (en €/tC)
4. Assemblage des résultats, optimisation économique (construction de la courbe de coût marginal de stockage → allocation coût efficace de l'effort de stockage), scénarisation et perspectives



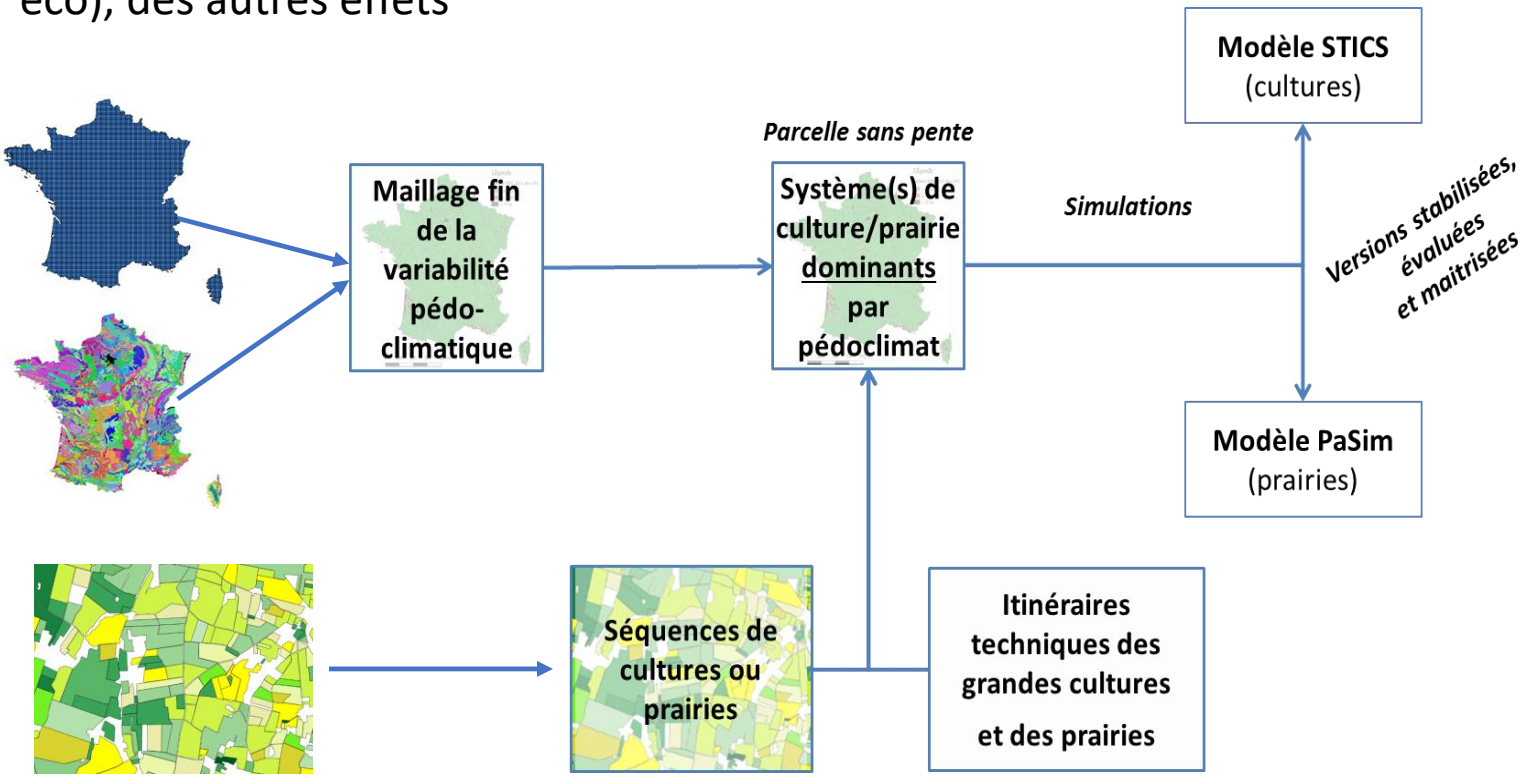
Exemple de Courbe du coût marginal de stockage





Simulations agronomiques

- STICS en grande culture, PASIM en prairie permanente
- Simulation sur 30 ans, par unité pédo-climatique et séquence type, de l'évolution du stock de C et d'autre variables d'intérêt (production, N_2O, less. nitrates,…)
  - avec les pratiques actuelles
  - avec des pratiques modifiées (plus « stockantes »)
- Calcul du différentiel de stockage de C à 30 ans, du différentiel de coût (cf partie éco), des autres effets



Pratiques stockantes étudiées:

En grande culture

- semis direct
- cultures intermédiaires
- mobilisation de nouvelles ressources organiques
- développement des prairies temporaires

En prairie permanente

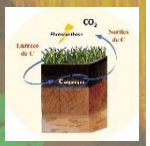
- extensification des prairies les plus intensives
- remplacement de fauches par des pâtures
- légère intensification des prairies les plus extensives

Agroforesterie

Haies

Enherbement des cultures pérennes

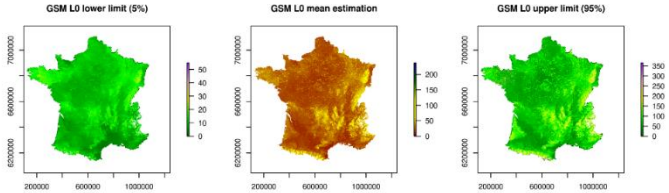
Restauration tourbières



Plan de simulation « Grandes cultures »

~ 33600 simulations élémentaires (climat x type de sol x séquence de culture)

X 3 Valeurs de stocks de carbone initial
(valeur basse, moyenne, haute) (Mulder, 2016)



X 6 scénarios techniques

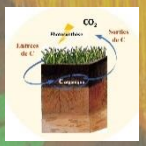
5 Scénarios simples :

- **Pratiques actuelles (Ligne de base)**
- **Pratiques « stockantes » individuelles**
  - Cultures intermédiaires
  - Semis direct
  - Nouvelles sources de PRO
  - Insertion de prairies temporaires et allongement des prairies déjà en place

1 Scénario combinant toutes les pratiques

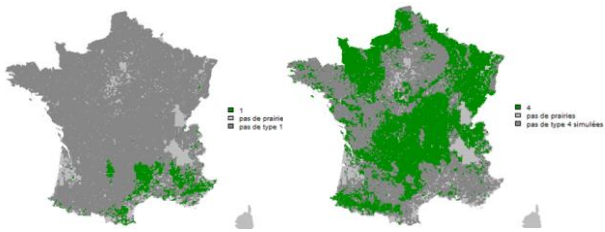
X 2 scénarios climatiques (Passé récent et RCP 8.5 2030-2060)

= 36 scénarios x 33600 pixels, simulés sur 30 ans, avec le modèle STICS



Plan de simulation prairies permanentes

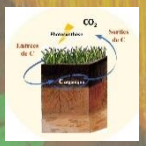
1099 UPC avec prairies de type Landes/parcours représentant 466496 ha
11325 UPC avec prairies exploitées plus intensivement représentant 5 879 759 ha



Scénarios techniques

- **Pratiques actuelles (Ligne de base)**
- **Pratiques « stockantes » individuelles**
  - Extensification des prairies « les plus intensives » > levier finalement non retenu car les prairies les plus intensives se sont avérées être des prairies pâturées avec déjà un fort taux de stockage
  - Remplacement fauche > pâture
  - Légère intensification des prairies les plus extensives (sauf landes/parcours)
- **1** Scénario combinant toutes les pratiques

Hypothèses sur le taux de légumineuses (11% si N<150 kg/ha, 5% si N>150kg/ha)
Chargement animal d'après RA2010
Une seule valeur de stock de carbone initial, un seul climat (passé récent)



Délivrables

Rapport complet (en ligne, en français)

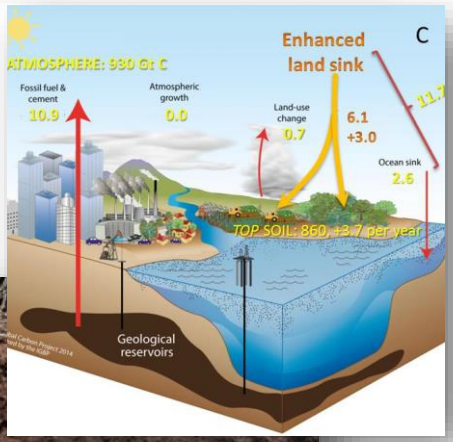
- Contexte, motivations
- état des connaissances
- résultats des simulations
- assemblage et perspectives

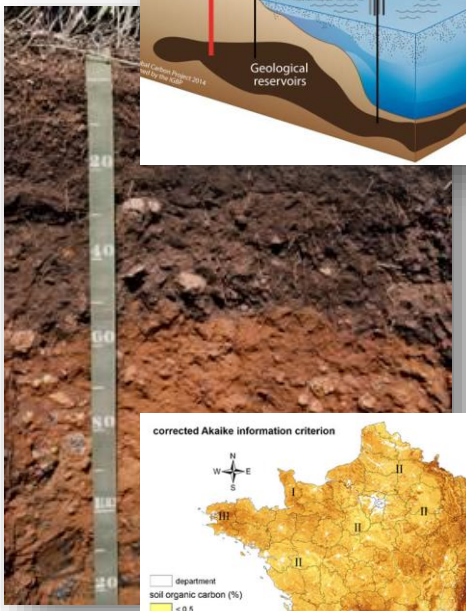
Synthèse (100p, imprimé, en français et en anglais)

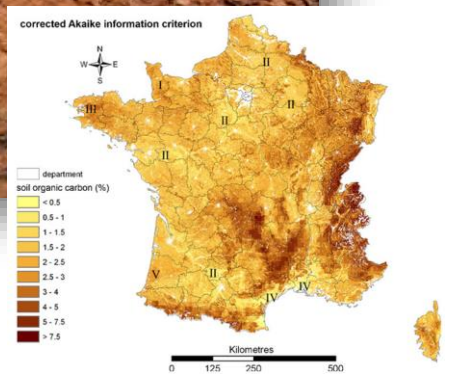
Résumé (8p, imprimé, en français et en anglais)

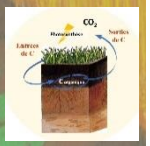
Colloque de restitution publique et mise en débat des conclusions (Paris, 13/6/19)

Publications scientifiques









Réflexions prospectives

Importance des modèles

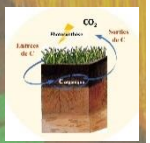
- pour **simuler sur des temps longs** (plusieurs décennies), sous scénarii climatiques
- pour explorer gamme large de scénarios techniques
  (gestion des résidus, cult.interm., apports exogènes,…)
- dans une **gamme large de contextes agro-pédo-climatiques**
  …très au-delà du nombre de cas que l'on peut tester expérimentalement

Les modèles à compartiments cinétiques (type AMG, STICS) présentent un bon compromis entre généricité/bases scientifiques/opérationnalité

- formalismes éprouvés, robustes, basés sur mécanismes connus
  (mais partiellement remis en cause); effet des principaux facteurs pris en compte via le paramétrage (T°, Humidité, % Arg, $CaCO_3$)
- nombre raisonnable de paramètres
- approche générique, structurante, commune aux différents contextes, filières,…
- permet améliorations progressives, capitalisation
  (cf exp H Clivot, JC Mouny, F Levavasseur,…)

Enjeux

- d'extension du paramétrage: nouvelles cultures (ex Vigne, cult. Énerg, prairie), nouveaux PRO (ex digestats), diversité des contextes pédoclimatiques
- de compartimentation et d'initialisation
- d'évaluation (compartiments cinétiques non mesurables, disponibilité et qualité des données,…)



Limites

- **Un modèle** (AMG) qui simulent **uniquement l'évolution du stock de C**
  - ➢ non prise en compte des nutriments N& P
  - ➢ Importance d'intégrer les stocks de C dans un bilan GES global, et une évaluation multicritère des pratiques →intérêt d'une association ou intégration d'AMG avec des modèles plus complets (ex AMG>STICS);

- Pas de prise en compte du **concept de saturation** (par construction stock à l'équilibre ↗ linéairement avec les entrées)

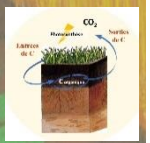
- **Spatialisation verticale des stocks de C** en réponse aux pratiques et type de culture (gradients liés au travail du sol, C horizons profonds etc.)

- **Pas de représentation explicite du compartiment biologique** (microbien et autres) . Est-ce une limite?

  Pour simuler les transitions?

  Pour simuler les effets d'évènements extrêmes (sécheresses,…)?

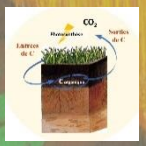
  pour rendre compte de leviers agissant via la biodiversité?



Défis

- Elargir aux **situations autres que grandes cultures** (ex. CE-CARB)
- **Coupler C & N & P** -> pouvoir détecter et modéliser des évolutions divergentes des différents éléments, quantifier les besoins en nutriments associés au stockage de C (flexibilité stœchiométrique ?),
  - ➢ Liens avec les fonctions et les organismes du sol ?
- **Contexte compétition pour la ressource en C** → Besoin croissant de concepts/méthodes/outils permettant d'évaluer les performances relatives de différents scénarios de valorisation de la biomasse
  - ➢ Besoin d'intégrer modèles C dans des outils d'évaluations plus larges, à quelle échelle s'arrête-t-on ?
  - ➢ SOLéBIOM précurseur

- **Pour l'enjeu atténuation du CC**, forts besoins d'agrégation et d'extension spatiale (calculer des stocks et des deltas de stocks sur de grands territoires)
  - ➢ articulation modèle local x outils de spatialisation à penser très en amont



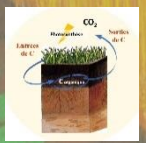
Une synergie remarquable des partenaires et des projets

Ce projet SOLéBIOM , et l'ensemble des projets qui ont gravité autour, en interaction

- forte synergie entre le développement opérationnel d'outils (ex. Simeos-AMG) et les approches plus scientifiques (ex. quantification de flux par la modélisation Stics, caractérisation des intrants organiques et potentiel de minéralisation /stabilisation)

- Principe de parcimonie sur les mesures et les paramètres
- Accélère le passage des connaissances vers l'opérationnel, et en retour questionne la recherche
- Oriente les recherches vers la recherche de fonctions simples et assez robustes

- **forte complémentarité de dispositifs expérimentaux** de natures différentes (essais long terme, plateforme multi-sites de démonstration, ferme expérimentale, réseaux de parcelles, incubations
- **caractère fortement évolutif et dynamique du consortium de recherche « AMG »**



COLLOQUE
Valoriser plus de biomasses agricoles
dans les filières de la bioéconomie
et stocker du carbone dans les sols :
est-ce compatible ?
PARIS - CISP Maurice Ravel
7 décembre 2018
Avec le soutien financier
Region
Hauts-de-France

Merci !