



Bilan Carbone organique du sol à l'échelle du territoire et ses applications : Émissions de GES en Tardenois / Érosion en Alsace

Projet **ABC'TerrE**
AAP REACTIF ADEME 2012



Travaux du RMT « Sols et territoires »
et de l'INRA et Agro-Transfert Ressources et Territoires



Paul van DIJK ¹, **Annie DUPARQUE** ² et **Olivier Scheurer** ³

- 1 : ARAA p.vandijk@alsace.chambagri.fr
2 : Agro-Transfert Ressources et Territoires a.duparque@agro-transfert-rt.org
3 : Institut Lasalle Beauvais Olivier.Scheurer@lasalle-beauvais.fr



- Les émissions agricoles comptent pour 19% des émissions globales de GES en France *(source CITEPA, 2013)*
- L'agriculture peut cependant contribuer à l'atténuation de ce bilan, notamment en grande culture

Il s'agit d'adapter progressivement les systèmes de culture

- ✓ pour une gestion affinée de la fertilisation azotée
- ✓ en développant les cultures de légumineuses (en culture principale ou en couvert intermédiaire, pures ou associées => fixation de l'azote de l'air)
- ✓ **pour favoriser le stockage de C organique dans les sols**

en lien direct avec l'Initiative 4 pour 1000

L'initiative « 4 pour 1000 » :

Les sols pour la sécurité alimentaire et le climat
Lancée par Stéphane Le Foll, lors de la COP21 (01/12/15)

Un programme de recherche international ayant pour

objectifs :

- ⇒ de montrer que sécurité alimentaire et lutte contre les dérèglement climatique sont complémentaires
- ⇒ de faire en sorte que l'agriculture apporte des solutions

Principe :

Développer la recherche agronomique afin d'**améliorer les stocks de matière organique des sols de 4 pour 1000 par an** : une augmentation qui permettrait de **compenser l'ensemble des émissions des gaz à effet de serre de la planète pendant quelques dizaines d'années.**

- Les émissions agricoles comptent pour 19% des émissions globales de GES en France *(source CITEPA, 2013)*
- L'agriculture peut cependant contribuer à l'atténuation de ce bilan, notamment en grande culture

Il s'agit d'adapter progressivement les systèmes de culture

- ✓ pour une gestion affinée de la fertilisation azotée
- ✓ en développant les cultures de légumineuses (en culture principale ou en couvert intermédiaire, pures ou associées => fixation de l'azote de l'air)
- ✓ **pour favoriser le stockage de C organique dans les sols**

en lien direct avec l'Initiative 4 pour 1000

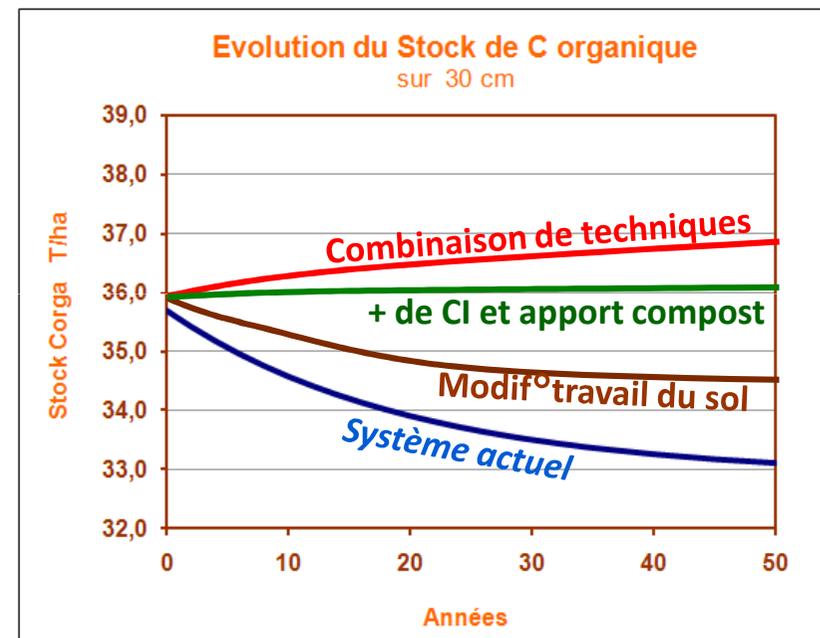
Et la mobilisation des ces leviers doit être **adaptée au contexte local**

- ⇒ des **outils et méthodes d'aide à la décision** sont nécessaires
- ⇒ pour le pilotage à la parcelle / l'agriculteur (échelle du système de culture)
- ⇒ pour l'orientation / la gestion collective des territoires

Pour l'agriculteur, un outil de simulation opérationnel
intégrant le calcul de bilan humique AMG sur le LT

Diagnostic du système actuel
puis test interactif
de solutions alternatives

Exemple d'un système Légumier en limon



en ligne sur : www.simeos-amg.org



Une méthode récemment mise au point à l'échelle du territoire

Inventaire des Combinaisons

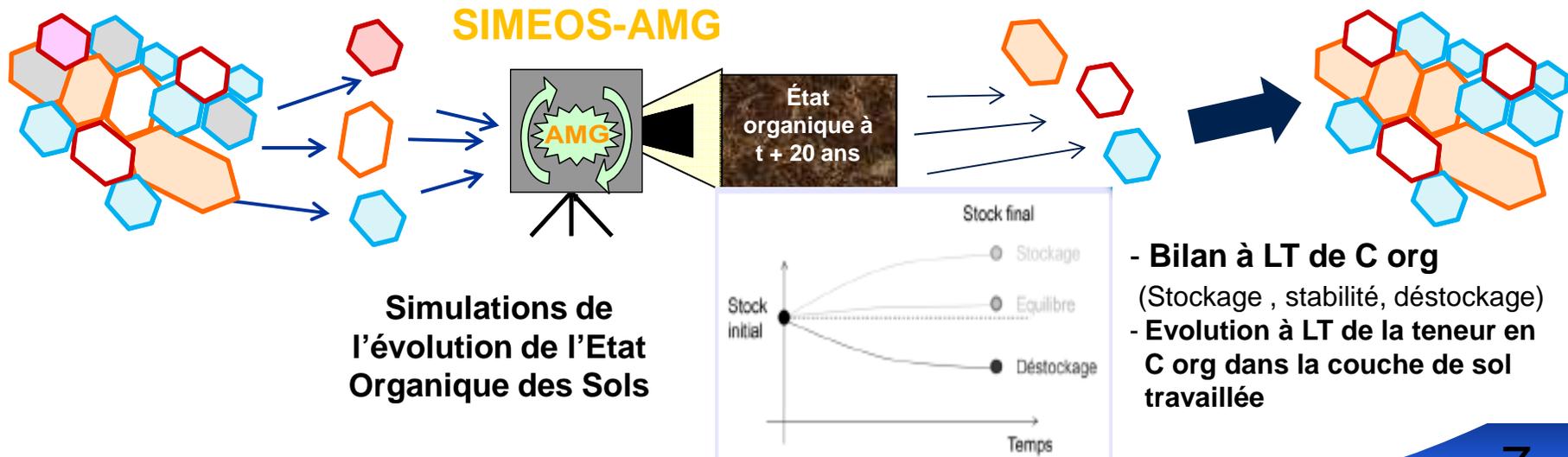
Système de culture X Sol
x Stock de C organique
localisées sur le territoire

Bases de données nationales spatialisées
et l'outil PRG-Explorer
Bases de données et expertise locales

Diagnostic spatialisé des Δ Stocks C organique des sols agricoles à LT

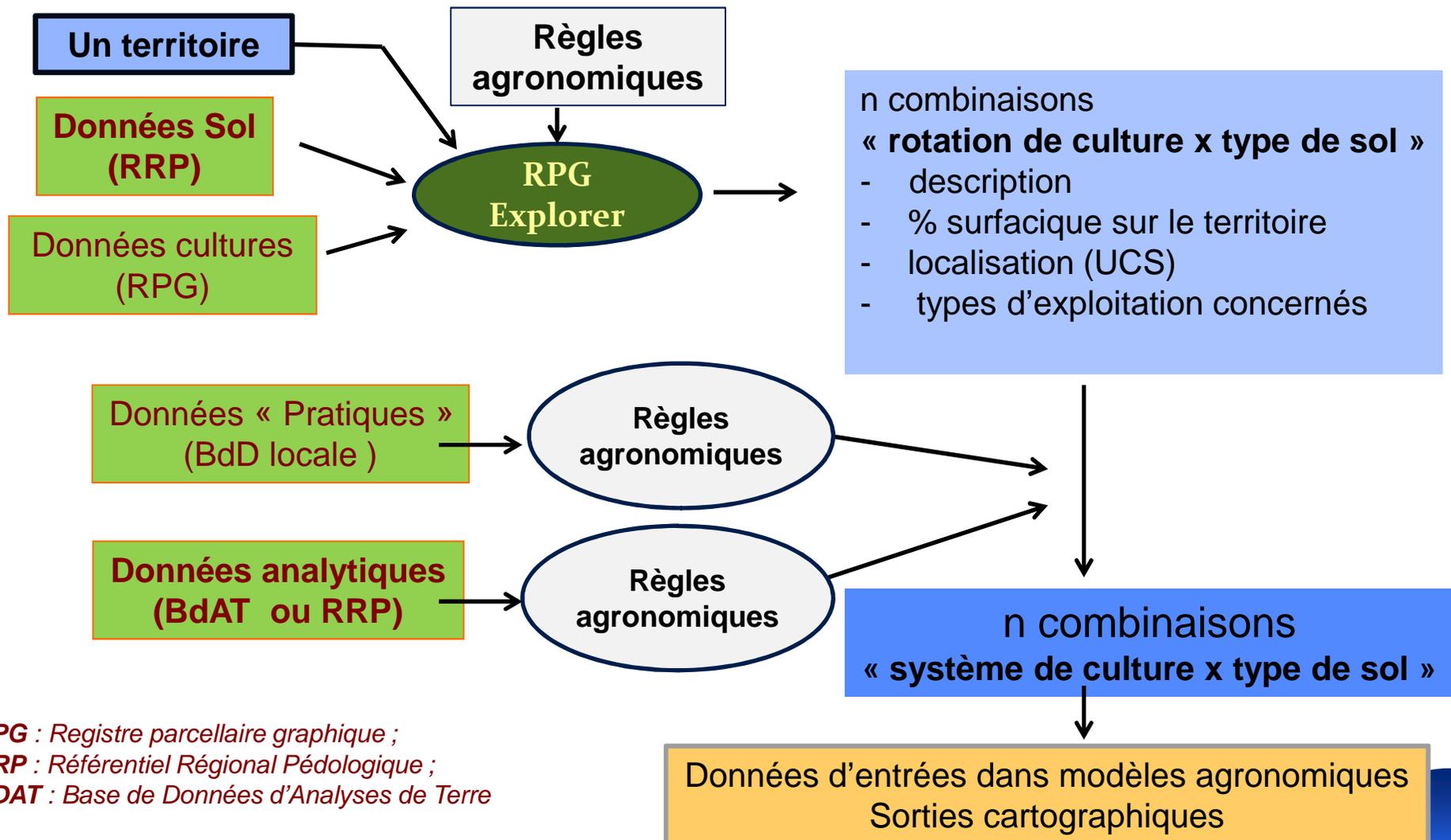
situation actuelle

situation à long terme



Une méthode récemment mise au point à l'échelle du territoire

Sources de données



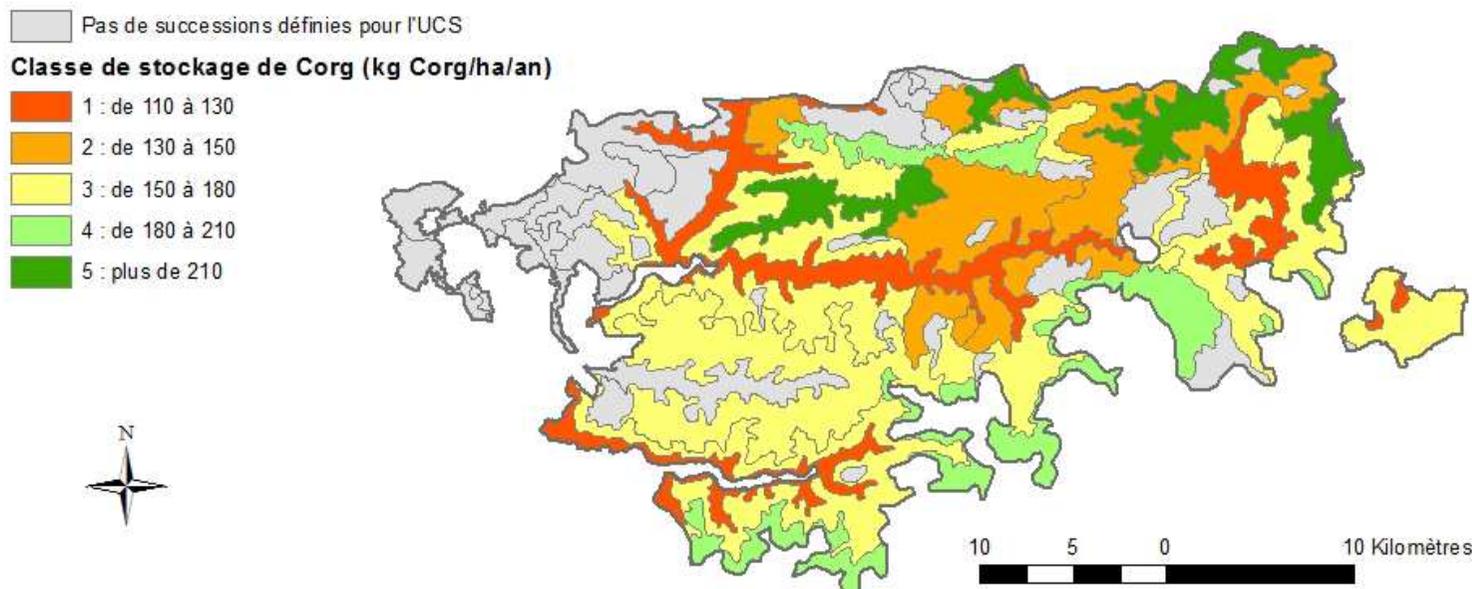
RPG : Registre parcellaire graphique ;
RRP : Référentiel Régional Pédologique ;
BDAT : Base de Données d'Analyses de Terre

Une méthode récemment mise au point à l'échelle du territoire

Diagnostic de l'évolution des stocks de C organique des sols cultivés pour la PRN du Tardenois (Aisne)

Représentation cartographique des résultats

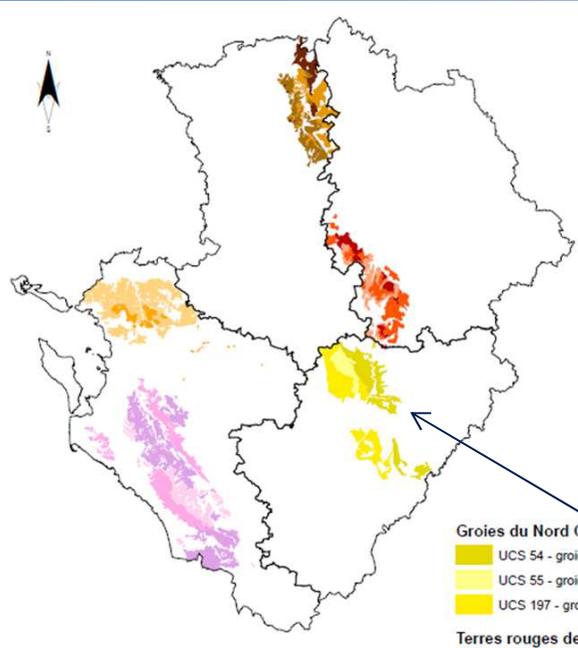
Evolution du stock de Corg par UCS



UCS : Unité Cartographique de Sol

Exemples de résultats

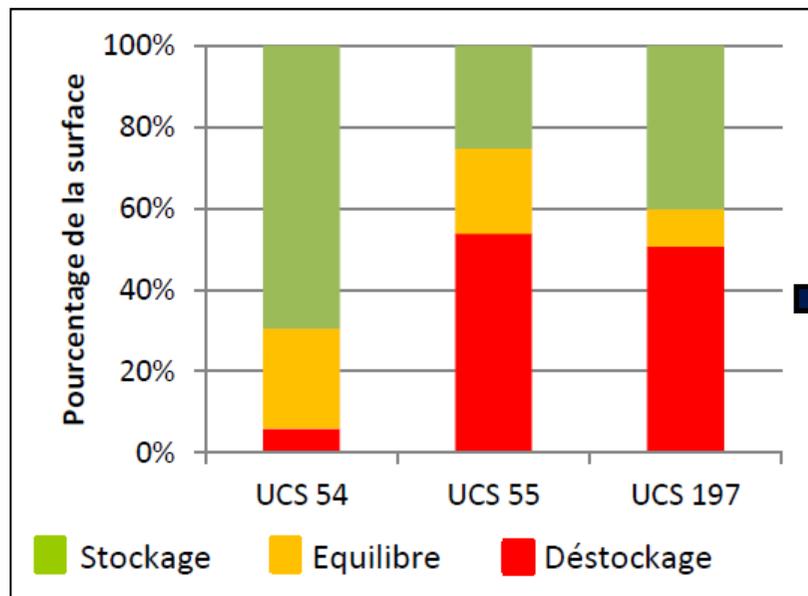
(Source : Vigot, 2012)



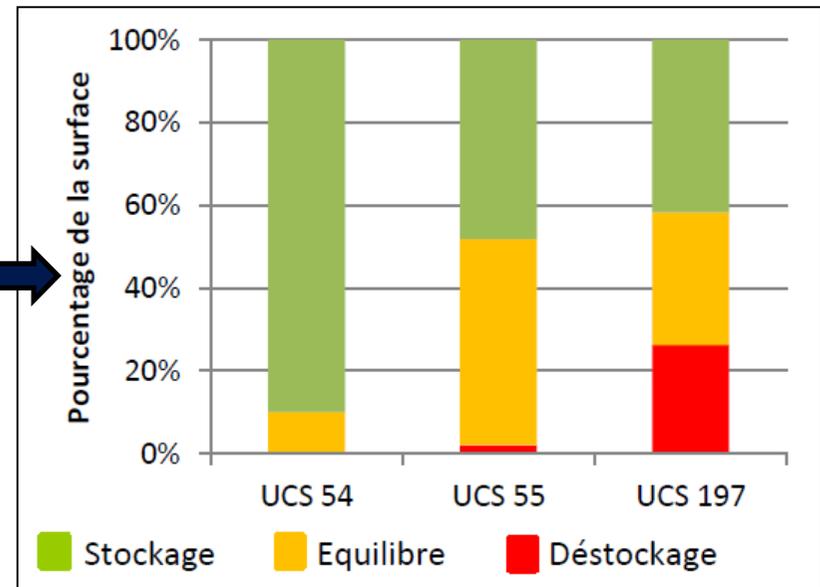
Terres de Groies du Nord Charente

Simulations de systèmes modifiés

Sans cultures intermédiaires



Avec généralisation des cultures intermédiaires



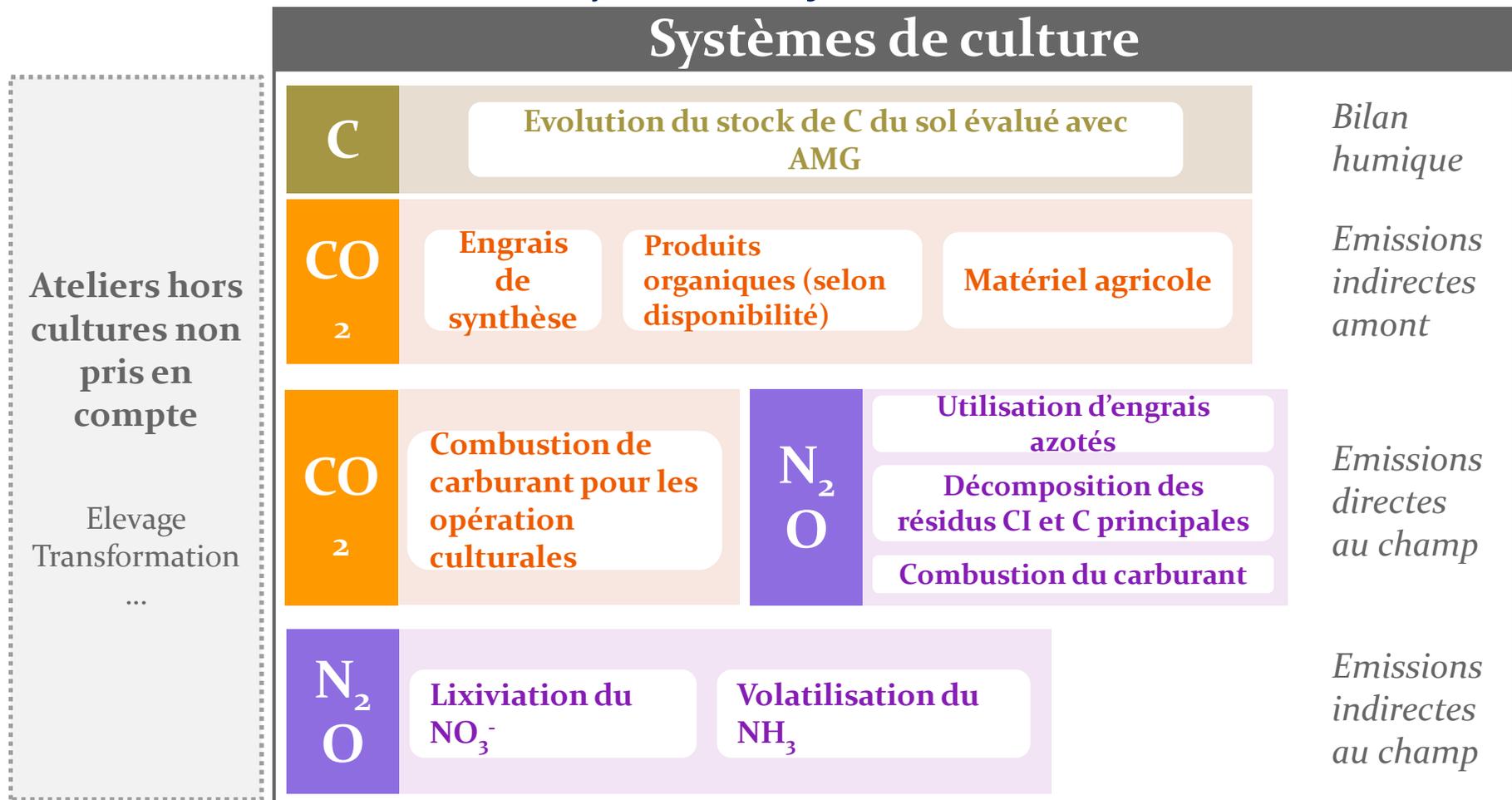
Un bilan territorial du carbone organique des sols

- qui valorise des **bases de données nationales** sur les cultures (*RPG*) et les sols (*RRP, BDAT*) et l'**expertise locale** sur les pratiques culturales
- **intégré à un bilan de GES** (*N₂O, CO₂*) des sols d'un territoire agricole en Picardie : *prise en compte des pratiques de gestion de l'azote et du C organique*



Mise au point d'une méthode Bilan Emissions Nettes de GES intégrant les variations de Stock de Corg des sols

Limites du système et flux de C et GES

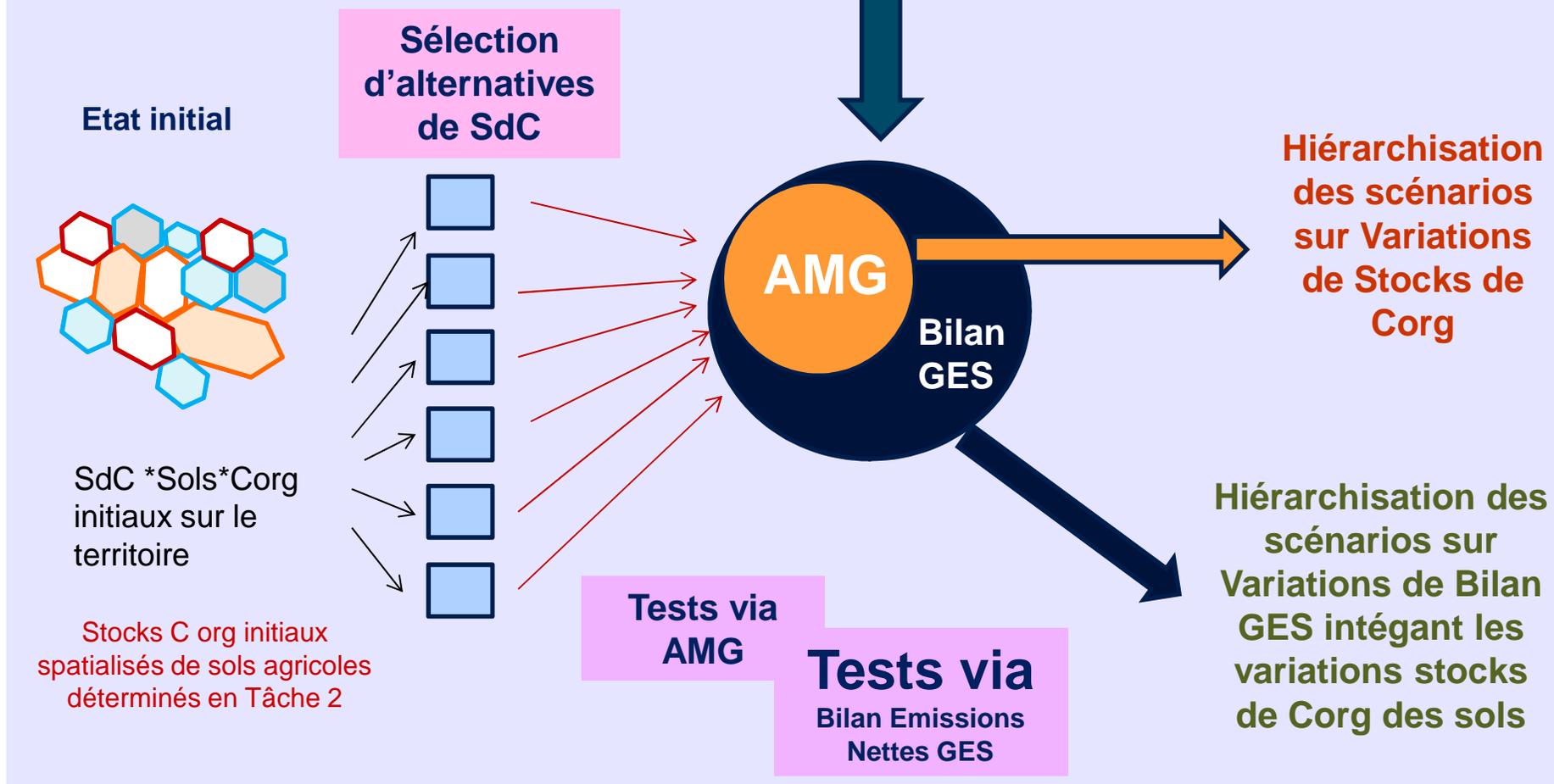


Travaux de :
C. Godard, F. Vandewalle et J. Boissy
Agro-Transfert-RT, 2014-2015



Méthode Bilan Emissions Nettes de GES intégrant les variations de Stock de Corg des sols

Applications



Un bilan territorial du carbone organique des sols

- qui valorise des **bases de données nationales** sur les cultures (*RPG*) et les sols (*RRP, BDAT*) et l'**expertise locale** sur les pratiques culturales
- **intégré au bilan de GES (N_2O , CO_2) des sols** d'un territoire agricole en Picardie : *prise en compte des pratiques de gestion de l'azote et du C organique*
*Mais on doit poursuivre le développement de la méthode de bilan GES
=> l'automatiser pour rendre possible la simulation des effets de modifications de pratiques sur le MT ou LT*
- **appliqué en Alsace pour le diagnostic des risques d'érosion** et la **simulation des impacts de changements de pratiques agricoles** sur ce risque à cette échelle



Application Alsace :

adapter les systèmes de culture pour limiter
l'érosion des sols

- Introduction
- Méthodes
- Quelques résultats
- Conclusions et perspectives

Plusieurs secteurs en Alsace connaissent des sérieux problèmes d'érosion des sols...



16

...et de coulées d'eaux boueuses

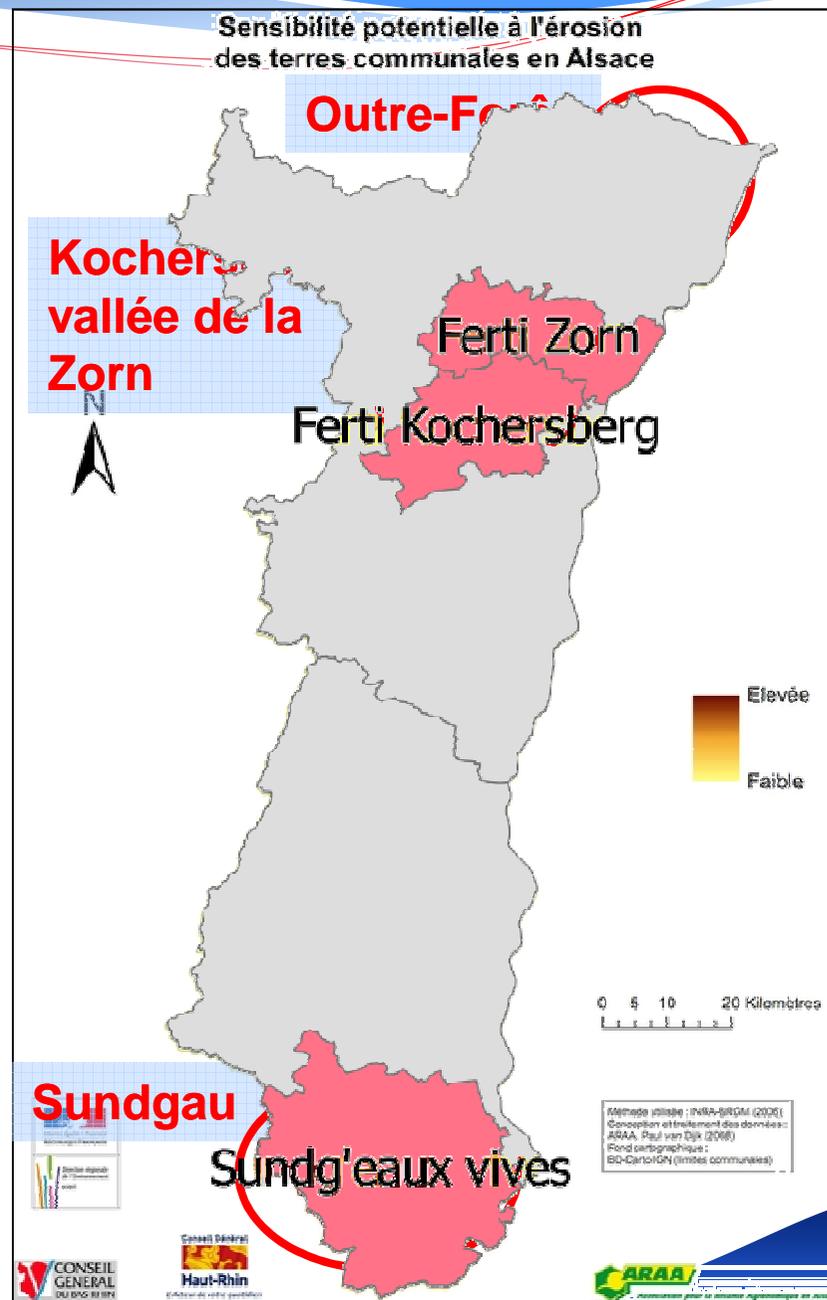


Constats

- Des secteurs agricoles dans des collines couvertes des **sols limoneux**
- ... avec une présence forte de cultures de printemps, laissent la **surface du sol exposée** au moment des orages de printemps

→ Secteurs d'étude retenus pour ABC'Terre

→ données pratiques agricoles disponibles (BD-AgriMieux)



Le système de culture comme levier d'action pour la lutte contre l'érosion ? **Deux effets principaux :**

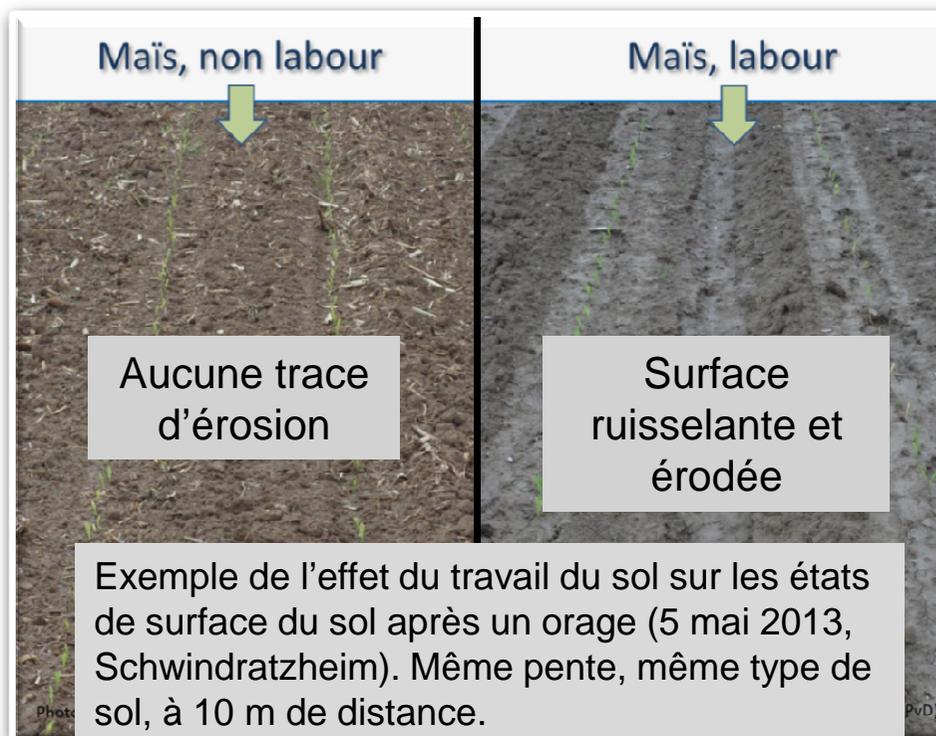
« **Système de Culture (SdC)** » = rotation + pratiques agricoles

Exposition de la surface du sol aux forces érosives



Exemple de l'exposition de la surface du sol au mois de mai en fonction de la culture

Érodibilité du sol en fonction de l'état humique (et l'act. biol.)



Maïs, non labour

Maïs, labour

Aucune trace d'érosion

Surface ruisselante et érodée

Exemple de l'effet du travail du sol sur les états de surface du sol après un orage (5 mai 2013, Schwindratzheim). Même pente, même type de sol, à 10 m de distance.

• Les questions ABC'Terre traitées pour l'Alsace

• Diagnostic à l'échelle d'un territoire

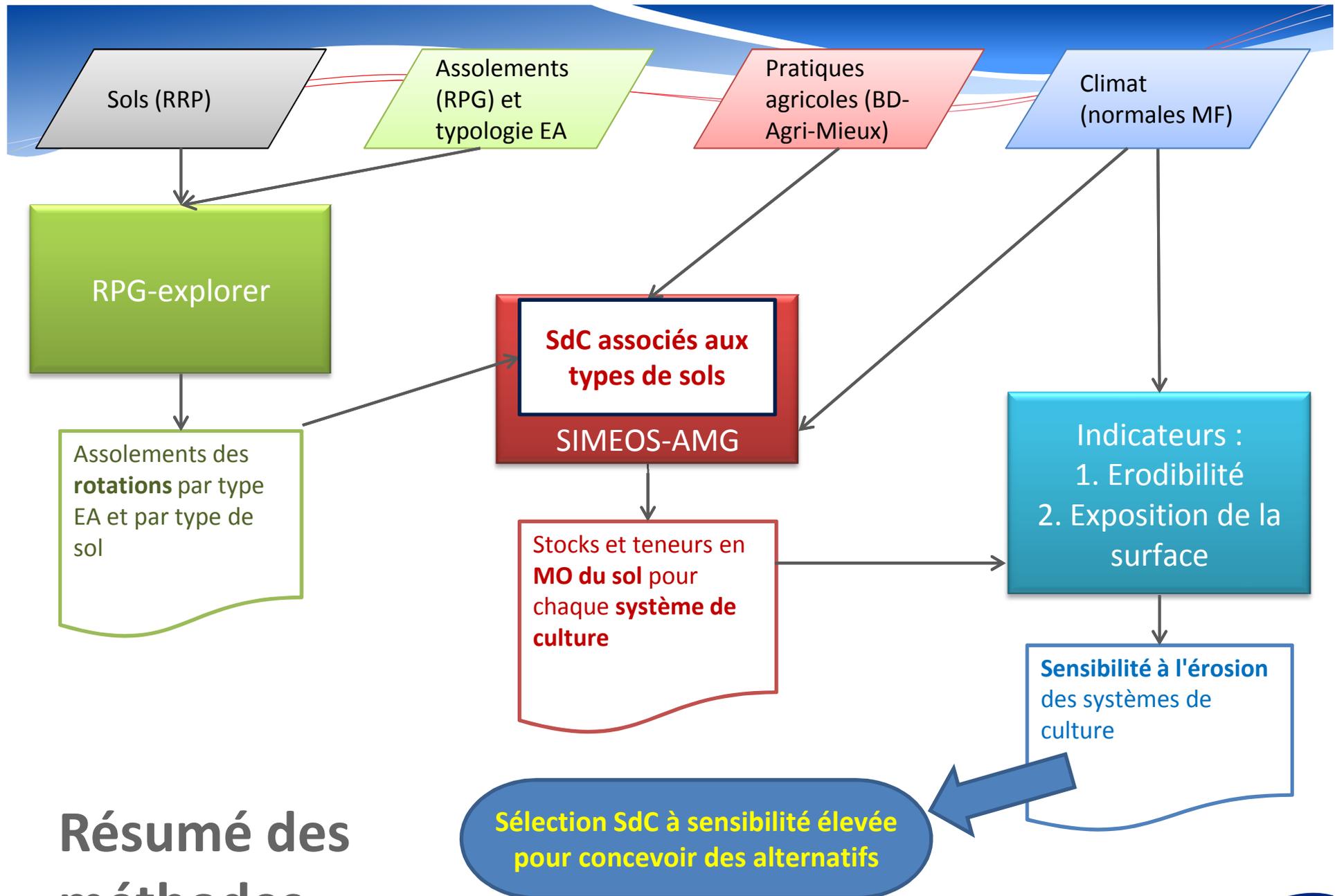
- Comment évaluer **l'état humique** des sols sur un **territoire** en prenant en compte les **effets « système de culture »** ? → Modèle Simeos-AMG
- Comment évaluer **l'érodibilité** des sols et **l'exposition de la surface** des sols pour ces SdC ? → approche indicateurs inspirés de l'USLE

Définition « Erodibilité » dans cette étude : Exprime la facilité avec laquelle un sol peut érodé (définition USLE)

→ cette définition intègre l'ensemble des facteurs qui déterminent l'aptitude d'un sol à générer du ruissellement (battance, ...), et de sa résistance à l'arrachement et au transport

• Recherche des solutions

- Comment concevoir des **SdC alternatifs** permettant de diminuer la sensibilité à l'érosion des sols à risque ? → conception collaborative et évaluation multi-critère (Stephy)



Résumé des méthodes

Données sols utilisées dans la démarche

- **RPG-explorer**

- Teneurs en argile (décarbonaté), calcaire (CaCO_3), et en éléments grossiers (cailloux)
- Hydromorphie (excès d'eau) (9 classes)
- Réserve utile (calculée)

- **Simeos-AMG**

- Teneurs en argile (décarbonaté), calcaire (CaCO_3), et en éléments grossiers (cailloux)
- Teneur en carbone organique initiale (issue du RRP ou de la BDAT)
- Densité apparente (estimée par fonction de pédotransfert)

- **Indicateur d'érodibilité:**

- Teneur en carbone organique du SdC simulée par Simeos-AMG
- Texture (teneur en argile, diamètre géométrique calculé à partir des teneurs en sable, limon et argile)

Données de sortie : assolements de rotation pour chaque UCS et UTS et par type EA

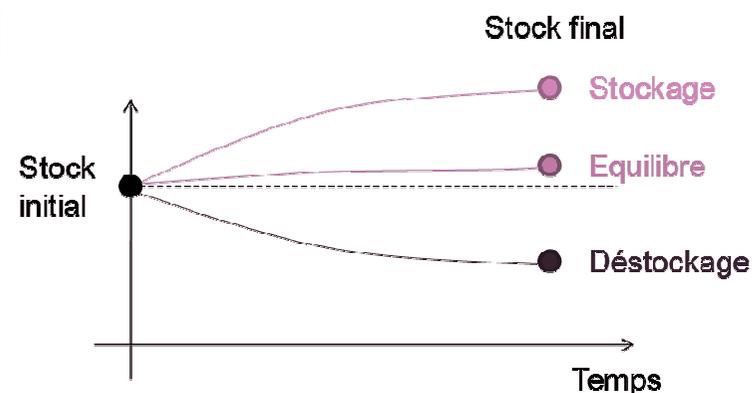
Exemple : Kochersberg Vallée de la Zorn - UCS 7

Type EA : céréaliers, maïs dominant

| Rotation | Proportion (%) dans UCS 7 | Surface (ha) | UTS 33 | UTS 154 | UTS 155 | UTS 165 |
|---------------------------------|---------------------------|--------------|--------|---------|---------|---------|
| ble-m_gr-m_gr-m_gr-m_gr-m_gr | 77.0 | 848 | 19.0 | 18.7 | 24.1 | 15.2 |
| esc-m_gr-m_gr-m_gr-m_gr-m_gr | 7.8 | 85 | 7.8 | 0 | 0 | 0 |
| m_gr-m_gr-m_gr-m_gr-m_gr-bett_s | 6.4 | 70 | 6.4 | 0 | 0 | 0 |
| tab-m_gr-m_gr-m_gr-m_gr-m_gr | 3.6 | 39 | 3.6 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |

SIMEOS-AMG

Simeos-AMG fournit les teneurs et stocks en C_{org} du sol entre l'état initial jusqu'à l'équilibre



Quelques situations agronomiques pour le secteur du Sundgau

Résultats utilisés pour l'indice d'érodibilité

| SdC | Stock initial | Stock 10ans | Stock 20ans | Stock 30ans | Stock 40ans | Stock 50ans | Stock 100ans | Stock équilibre | Teneur initial | Teneur 10ans | Teneur 20ans | Teneur 30ans | Teneur 40ans | Teneur 50ans | Teneur 100ans | Teneur équilibre |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------------|
| 9 | 42.3 | 59.1 | 69.5 | 75.9 | 79.9 | 82.3 | 85.9 | 86.3 | 11.6 | 16.2 | 19.1 | 20.8 | 21.9 | 22.6 | 23.6 | 23.7 |
| 10 | 43.0 | 59.1 | 68.8 | 74.6 | 78.1 | 80.2 | 83.2 | 83.4 | 11.6 | 15.9 | 18.6 | 20.2 | 21.1 | 21.7 | 22.5 | 22.6 |
| 11 | 44.3 | 60.6 | 70.8 | 77.0 | 80.9 | 83.3 | 86.8 | 87.2 | 11.6 | 16.0 | 18.5 | 20.2 | 21.2 | 21.9 | 22.8 | 22.9 |
| 12 | 42.4 | 44.6 | 45.9 | 46.7 | 47.2 | 47.5 | 48.0 | 48.0 | 11.6 | 12.2 | 12.6 | 12.8 | 13.0 | 13.0 | 13.2 | 13.2 |
| 13 | 43.0 | 44.7 | 45.7 | 46.3 | 46.7 | 46.9 | 47.2 | 47.3 | 11.6 | 12.8 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.7 | 12.8 | 12.8 |

Unités:

- Stock: tC/ha
- Teneur: g/kg

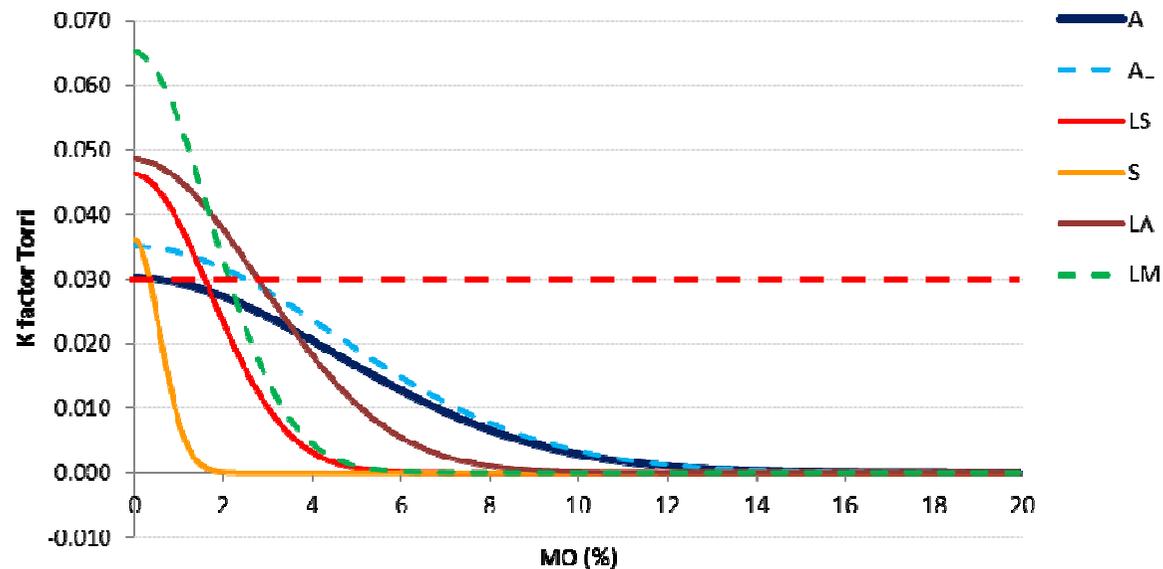
Résultats obtenus à partir des valeurs initiales du Corg du RRP

Indicateurs : 1. Erodibilité

Indicateur d'érodibilité ($I_{\text{érod}}$)

Selon K-factor USLE, équation de Torri et al. (1997) :

$I_{\text{érod}}$ en fonction du pourcentage en matières organiques d'un sol



- Impact de la matière organique (MO) est fonction de la texture
- Forte sensibilité à la teneur en MO
- Sols sableux pas sensibles car peu ruisselants, sols argileux peu sensibles car plus cohésifs
- Valeur objective à atteindre retenu dans l'étude : $I_{\text{érod}} < 0.03$

Indicateurs :
2. Exposition de la
surface

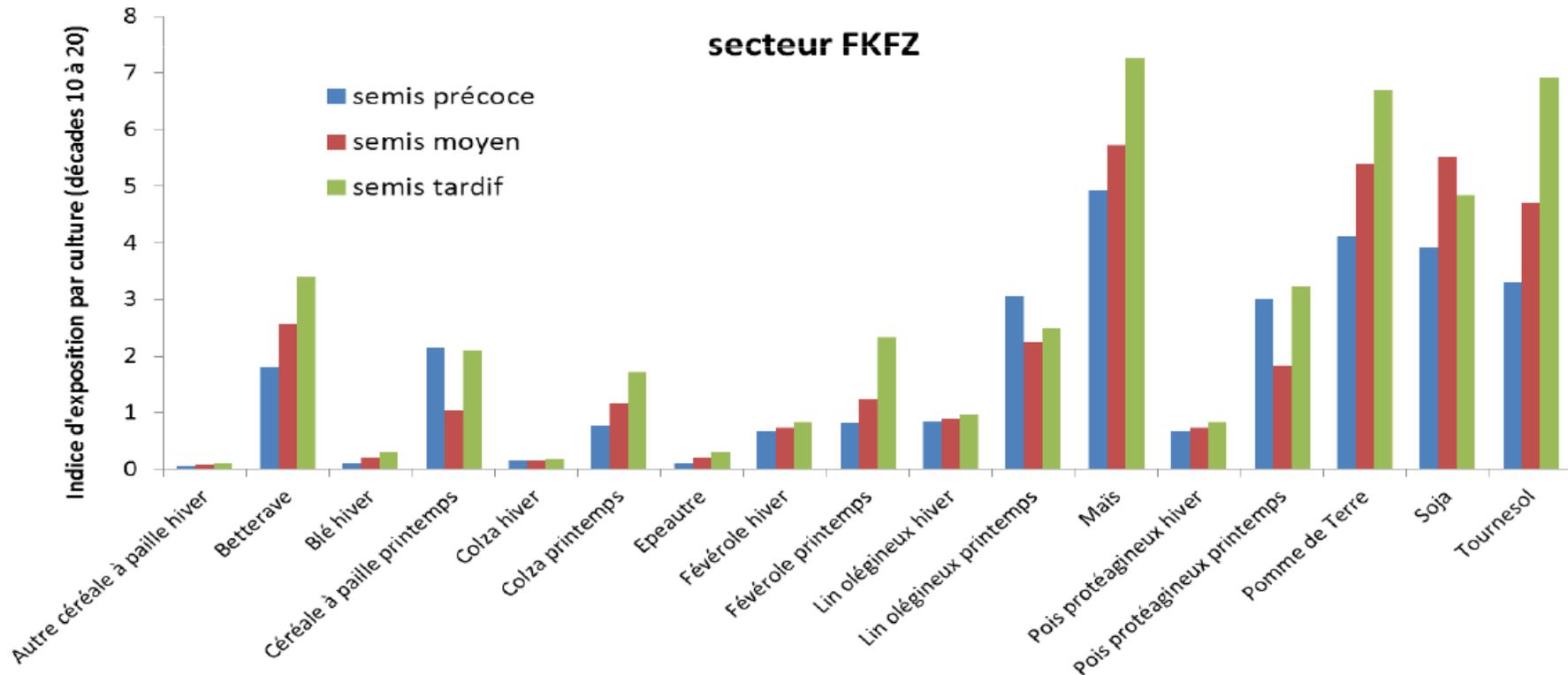
Indice d'exposition (I_{expo})

Calculé par décade à partir de :

f_c : **l'effet couverture** végétale sur l'érosion

I_p : Indice **d'érosivité des pluies** basé sur le coefficient d'Angot (effet quantité) et la pluie moyenne par jour pluvieux (moyenne par mois) (proxy intensité)

Etape 1 : I_{expo} par culture



Indicateurs : 2. Exposition de la surface

I_{expo} sur l'ensemble de la rotation

Calculé à partir de la valeur moyenne de I_{expo} par culture (somme des valeurs par culture divisée par le nombre d'année de la rotation) divisé par la valeur maximale des cultures individuelles.

$$I_{expo \text{ rotation}} = \frac{\frac{\sum_1^n I_{expo \text{ culture}}}{n}}{\max(I_{expo \text{ culture}})}$$

Tableau 1. Quelques exemples de l'indicateur d'exposition à l'échelle de la rotation (conditions climatiques FKFZ)

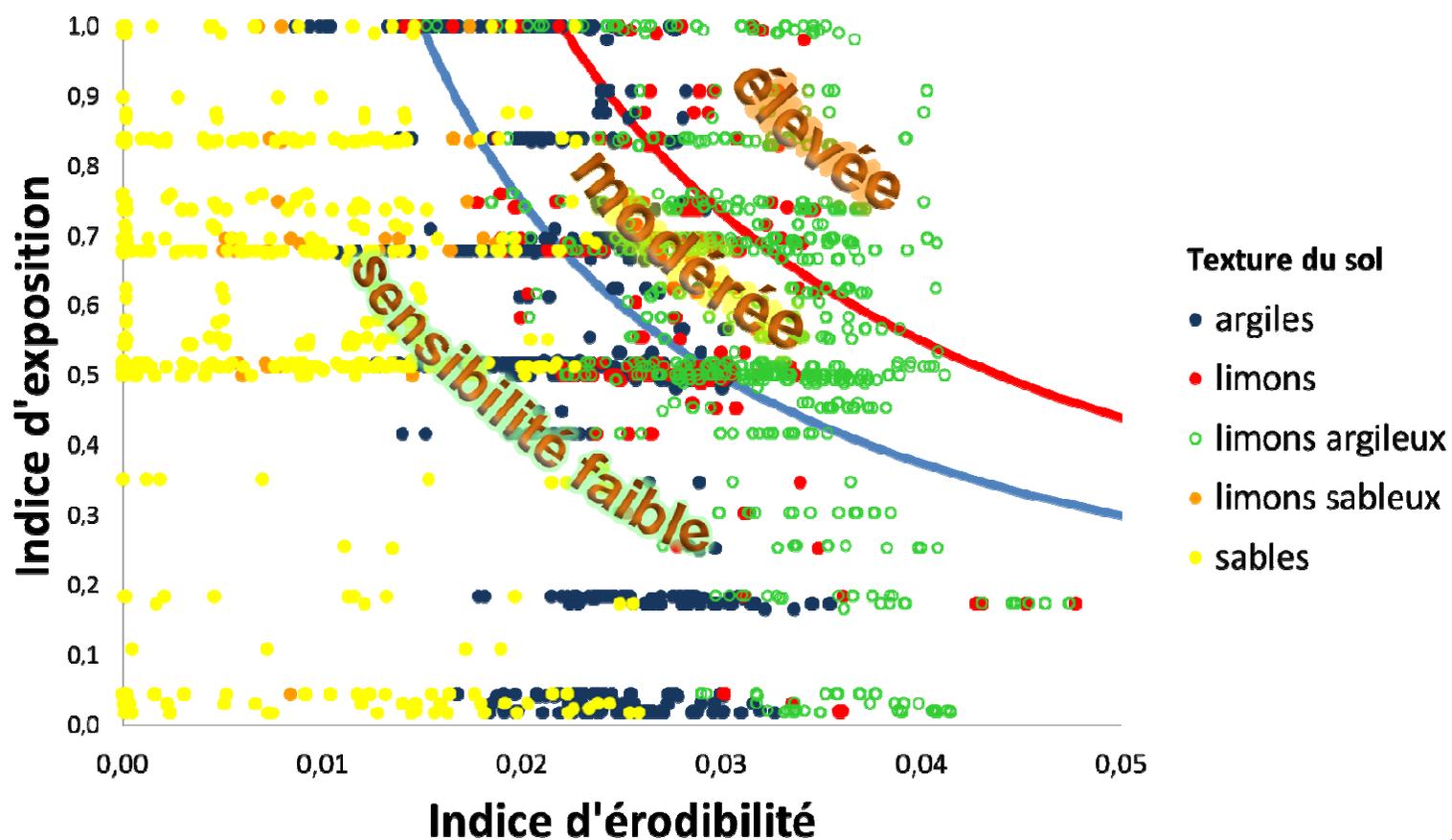
| Rotation | I_{expo} (culture), moyenne | I_{expo} (rotation) |
|------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Mgr (mono) | 5.72 | 1.00 |
| Mgr_Mgr_Mgr_Blé | 4.35 | 0.76 |
| Mgr_Mgr_Blé_Bett | 3.56 | 0.62 |



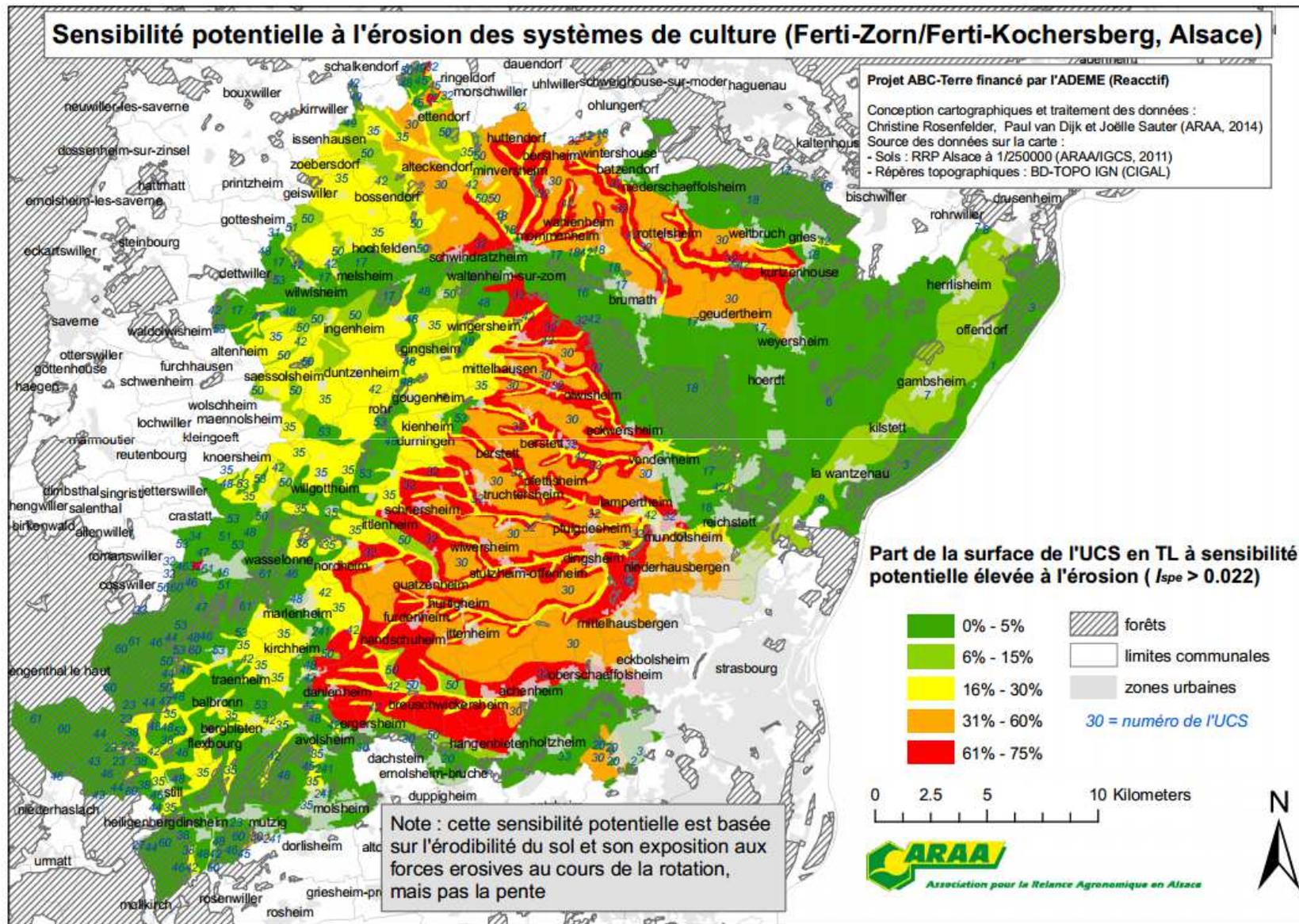
Quelques résultats

Nombre de situations agronomiques pour les deux secteurs :
Kochersberg - Vallée de la Zorn: **4 852**, Sundgau: **2 868**

Chaque point représente un SdC
(= rotation x pratiques x type de sol)



Spatialisation de la situation initiale (diagnostic) :



Conception des SdC alternatifs

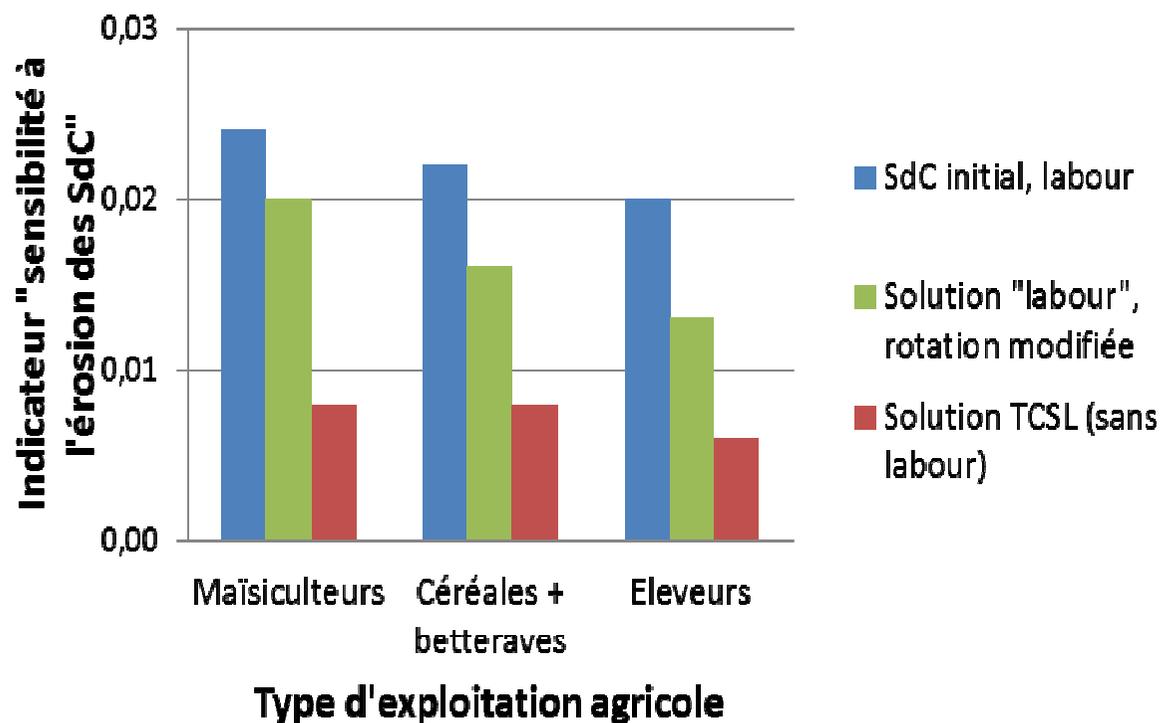
Solutions en TCSL :

plus performantes que les solutions en labour car forte réduction de l'érodibilité **et** de l'exposition du sol

Solutions en labour :

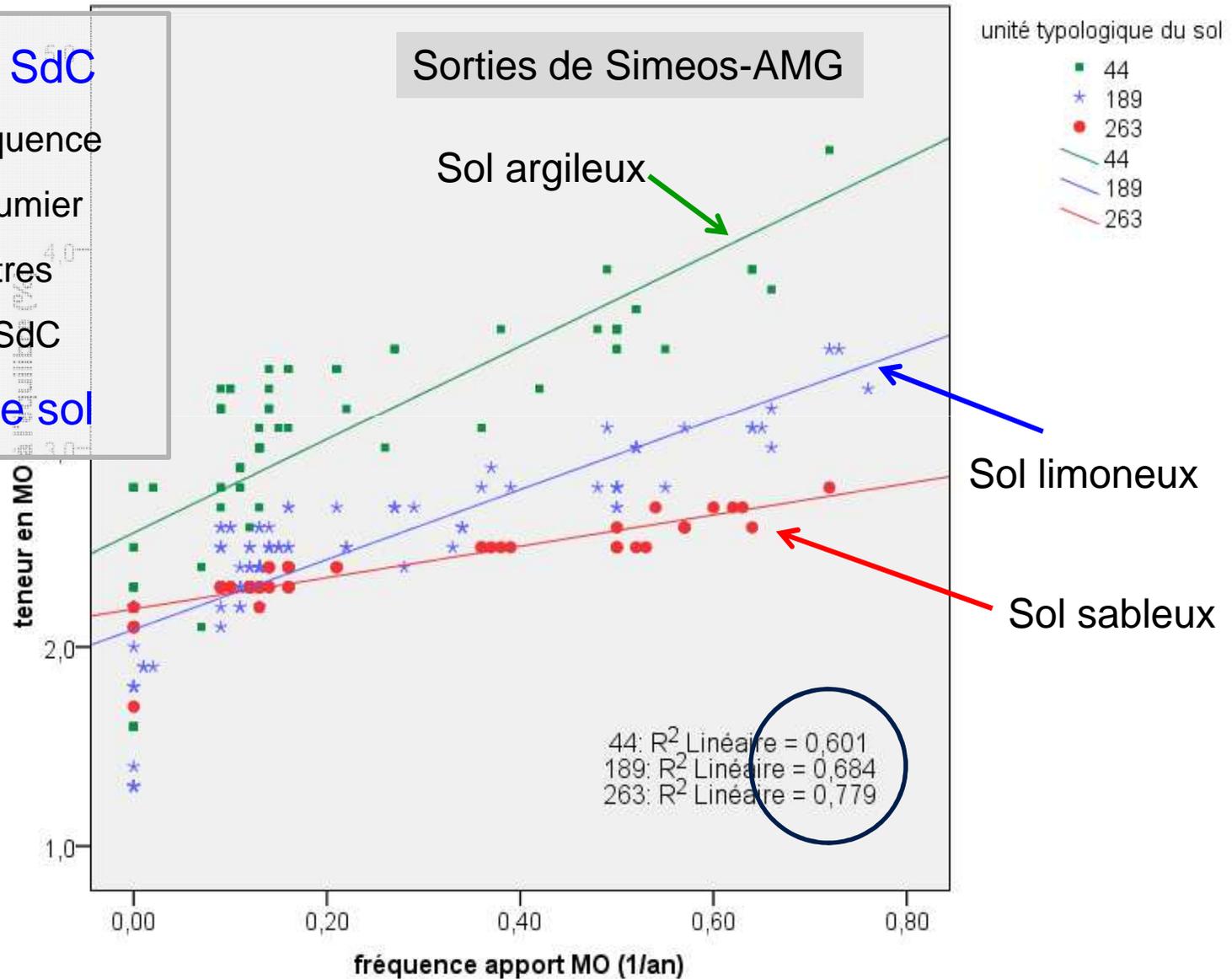
au-delà de la rotation, les facteurs clé permettant de réduire la sensibilité à l'érosion sont la fréquence des apports de matières organiques (PRO) stables ainsi que la gestion des résidus de culture

Réduction de la sensibilité à l'érosion de 17 à 70% par rapport à la situation initiale

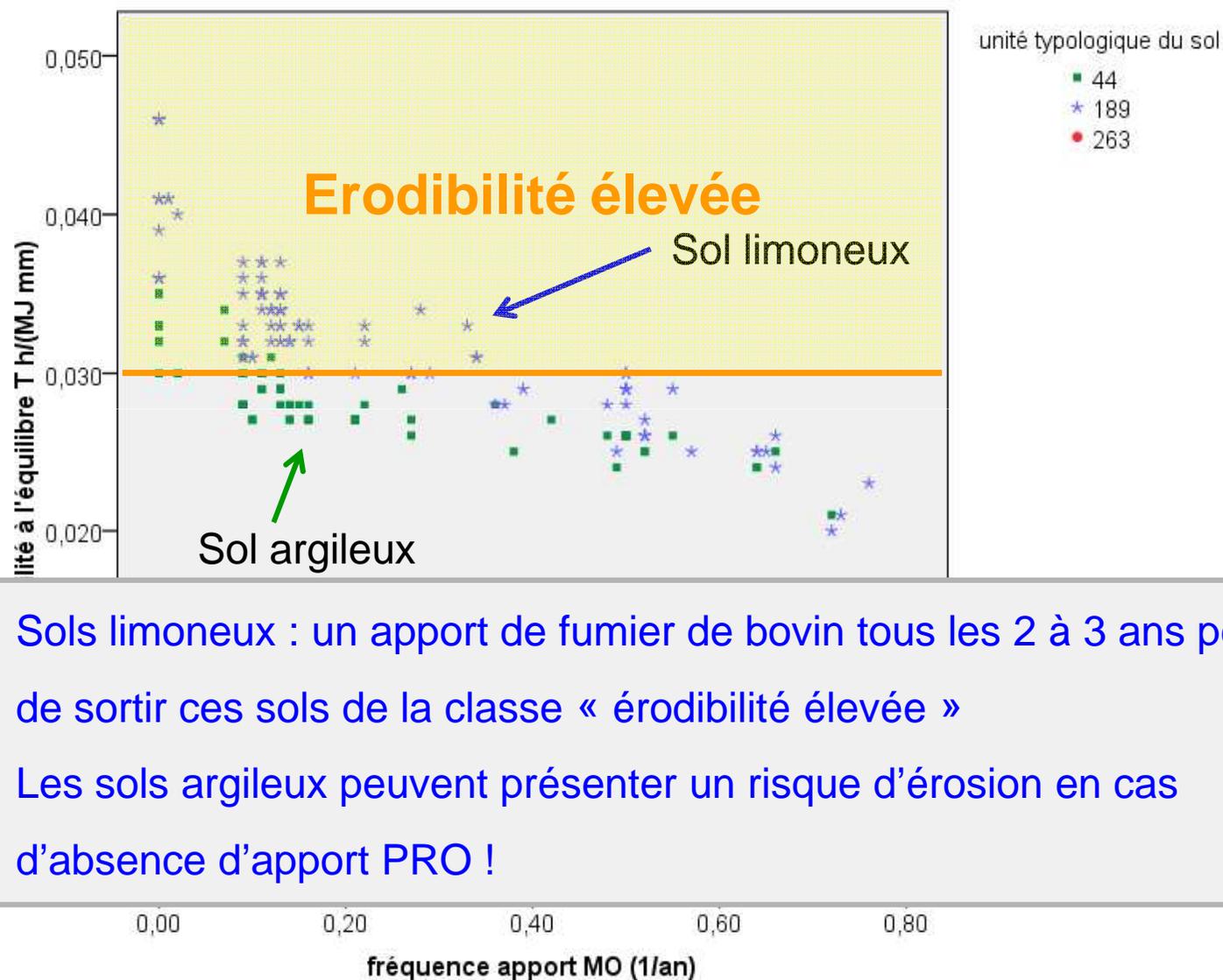


Teneur en MO à l'équilibre pour 3 types de sol en fonction de la fréquence d'apport de fumier de bovin

- Fort impact SdC
 - $\approx 2/3$ fréquence apports fumier
 - $\approx 1/3$ autres facteurs SdC
- Rôle type de sol



Exemple (suite) : érodibilité pour 3 types de sol en fonction de la fréquence d'apport de fumier de bovin



- Sols limoneux : un apport de fumier de bovin tous les 2 à 3 ans permet de sortir ces sols de la classe « érodibilité élevée »
- Les sols argileux peuvent présenter un risque d'érosion en cas d'absence d'apport PRO !

Conclusions

- Des **méthodes/outils et des bases de données (sols, assolements, pratiques agricoles)** sont disponibles pour **décrire les SdC sur un territoire**, permettant des analyses thématiques diverses sur l'agriculture et l'environnement
 - **Réalisé** : stockage du carbone dans les sols agricoles, érosion
 - **En cours** : impacts des cultures énergétiques sur la MO du sol, impact des systèmes de culture sur le bilan des GES, sur la qualité des eaux (nitrates, phyto),

Perspectives

Enrichir l'outil CLIMAGRI de l'ADEME

Bilan GES mis en œuvre pour les Plans Climat Energie Territoriaux

Transférer les acquis au conseil agricole

Merci pour votre attention



Programme ADEME REACTIF- Recherche sur l'Atténuation du Changement Climatique par l'agriculture et la Forêt

ABC'TerrE

Atténuation du Bilan gaz à effet de serre agricole
intégrant le Carbone du sol, sur un TERRITOIRE

Porté par



En partenariat avec :



Soutenu par le RMT Sols et Territoires :



Les collaborateurs ABC'Terre :

O. Scheurer, L. Mata (Lasalle Beauvais) ; P. Van Dijk, C. Rosenfelder , J. Sauter (ARAA) ;
P. Martin, N. Piskiewicz (AgroParisTech); L. Guichard, B. Mary, N. Saby (INRA) ; S. Sagot (LDAR) ;
JL Fort, M. Vigot (Chambre Régionale de Poitou-Charentes) ;
C. Delame, A. Duparque, C. Godard, F. Vandewalle , J. Boissy (Agro-Transfert-RT)
Dossier suivi par T. Eglin (ADEME)