# FERTILITÉ DES SOLS ET STOCKAGE DE CARBONE

## Quels sont les meilleurs outils pour les évaluer ?

Cassandre Gaudnik, *Chambre d'agriculture de la Marne*
Sophie Maillant, *Chambre d'agriculture du Grand Est*
Frédéric Berhaut, *Chambre d'agriculture de la Haute-Marne*
Christophe Barbot, *Chambre d'agriculture d'Alsace*
Sylvain Duthoit, *Chambre d'agriculture de la Marne*
Paul Van Dijk, *Chambre d'agriculture du Grand Est*

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Présentations

- “Biofunctool ® : couteau suisse du diagnostic de fertilité? essai en parcelles expérimentales” *Sophie Maillant (CRAGE) et Cassandre Gaudnik (CDA51)*

- “Outils de diagnostic terrain : observer, observer … et décider” *Frédéric Berhaut (CDA52)*

- “Fonctionnement organo-biologique des sols: références en Grand Est” *Sophie Maillant (CRAGE) et Christophe Barbot (CA67-68)*

- “L’évolution des teneurs en Carbone organique des sols : cartes en main” *Paul Vandijk (CRAGE) et Sylvain Duthoit (CDA51)*

# Biofunctool ® : couteau suisse du diagnostic de fertilité ?
# Essai en parcelles expérimentales

Cassandre Gaudnik, *Chambre d'agriculture de la Marne*
Sophie Maillant, *Chambre d'agriculture du Grand Est*

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Objectifs dans ACSE 2

- Tester une méthode de terrain qui donne des informations sur des fonctions du sol, dont les « transformations carbonées »
- Tester la faisabilité en parcelles expérimentales avant utilisation chez des agriculteurs

➔ Choix de Biofunctool : facilité de réalisation, rapidité de résultats et coût faible

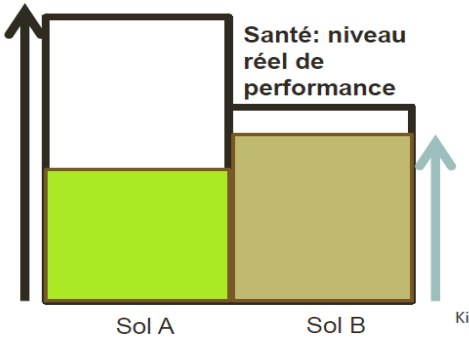
# Biofunctool : quelques principes

## Qualité ou santé des sols ?

Qualité des sols = potentialité intrinsèque du sol à fournir des fonctions

Santé des sols = performance ou fonctionnement réel du sol relatif à son potentiel

**Qualité : niveau potentiel de performance**

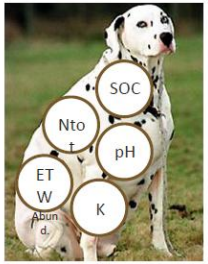



Kibblewhite et al., 2008

Kibblewhite et al., 2008. Soil health in agricultural systems. Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci. 363, 685–701.

## D'une approche statique à une approche dynamique

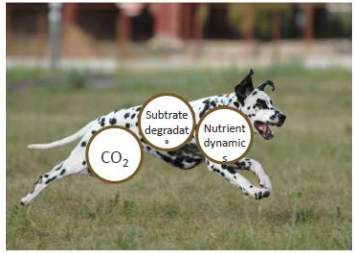
**Soil health V1.0**




**Reductionist** = Stock approach

Assessment of independant **properties**

**Soil health V2.0?**




**Integrative** = dynamic approach

Assessment of **functions** = result of interactions

Kibblewhite et al., 2008. Soil health in agricultural systems. Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci. 363, 685–701.

# Biofunctool : quelques principes

Sol = boite noire

**FONCTIONS**

Transformations carbonées
- Carbone labile (POXC)
- Respiration 24h
- Taux de consommation d'un substrat (lamina bait)

Cycle des nutriments
- Minéralisation in situ (membranes échangeuses d'ions)
- Teneur en N minéral

Maintien de la structure
- Test bêche
- Vitesse d'infiltration
- Test de stabilité des agrégats

**Mesures sur le terrain**

**Indice de santé du sol**

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Résultats de Terralab

Cassandre Gaudnik,

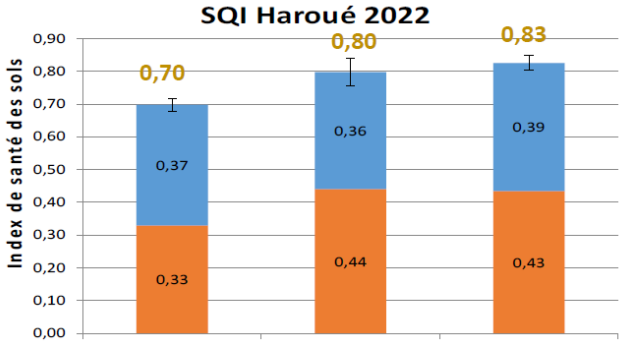
*Chambre d'agriculture de la Marne*

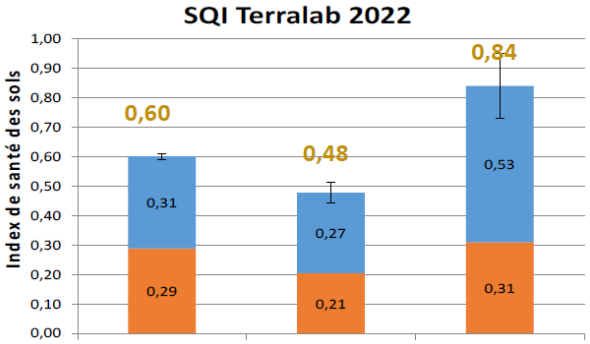
ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

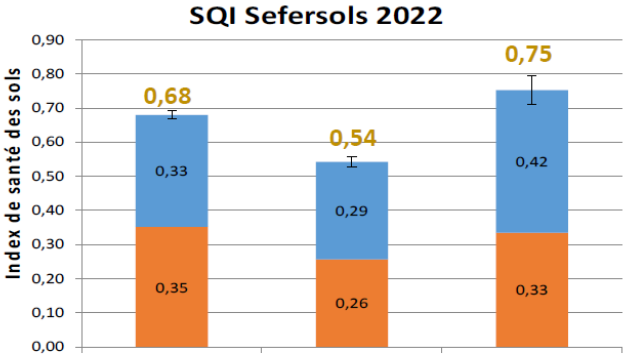
# Résultats des 3 sites expérimentaux

- Niveau de « santé » du sol selon les systèmes

  => outil pertinent pour comparer des systèmes sur un site donné



# Bilan

- Capacité à distinguer les systèmes
- Résultats sur plusieurs fonctions, et sur fonctionnement biologique
- Intérêt de faire des répétitions
- Participation de plusieurs personnes
- Nécessité des points de comparaison
- Phase d’apprentissage pour la préparation et réalisation
- Préparation et réalisation relativement chronophages
- Protocoles en cours d’évolution (notamment pour N)

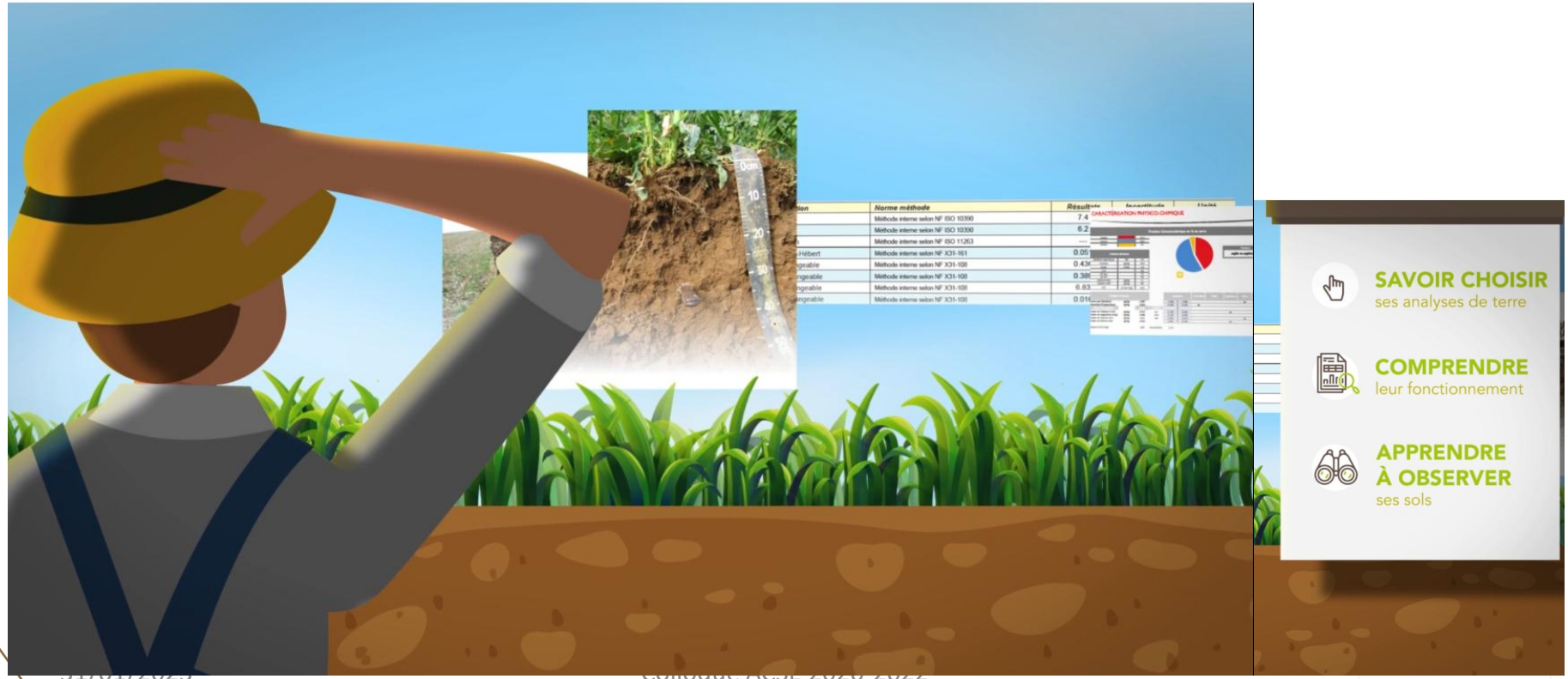
ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Outils de diagnostic terrain : observer, observer … et décider

Frédéric Berhaut, *Chambre d'agriculture de la Haute-Marne*

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

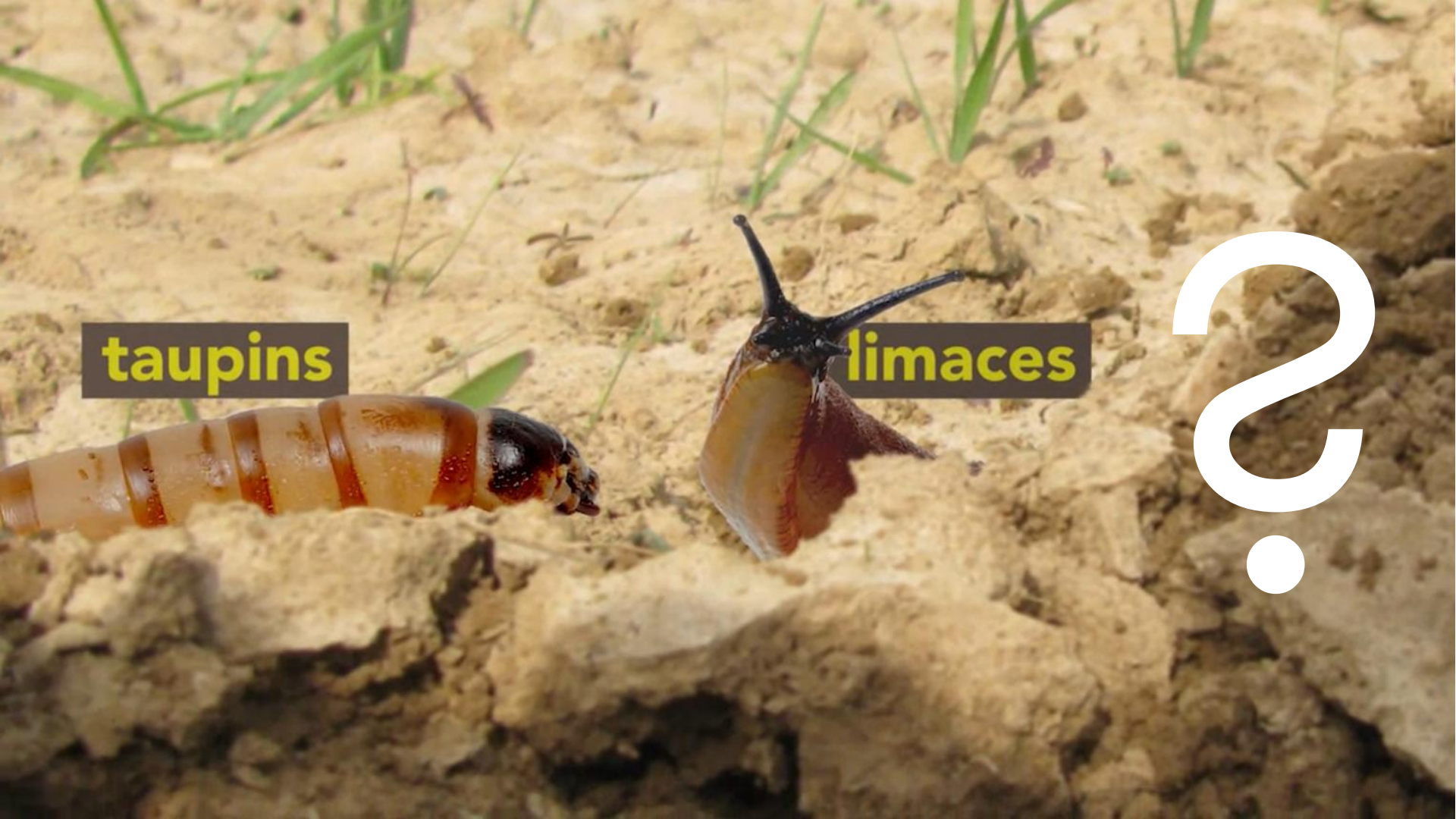
# OBSERVER SON SOL



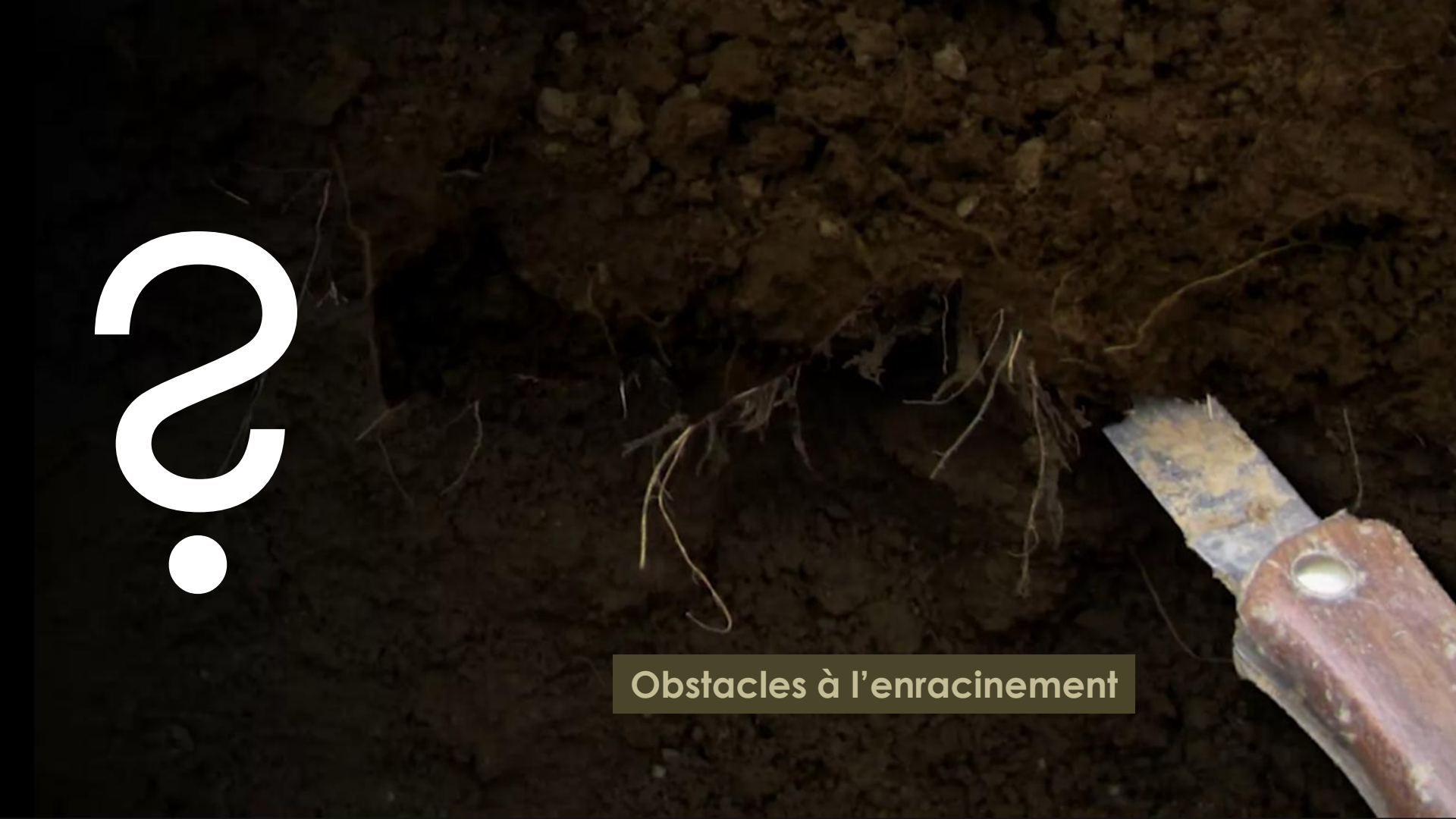
Des problèmes visibles : tassements ...

... érosion ...

Et les autres, par exemple :
une culture qui lève mal ...


taupins
limaces

croute
de battance



# Obstacles à l’enracinement

# Un couvert « restructurator » ?

# Sensibilité de quelques espèces cultivées aux problématiques de structure

**TRES SENSIBLE**

Tournesol et betterave

Colza et maïs

Pois, soja et féverole

Orge

Avoine et blé

Seigle

**PEU SENSIBLE**

Pour l'agriculture de demain

# Observer un sol est riche d'enseignements

Des problèmes de structure plus ou moins profonds

En surface : Semis Direct

Des accumulations de MO

En profondeur : labour

Des indicateurs d'humidité (concrétions ferriques par exemple)

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

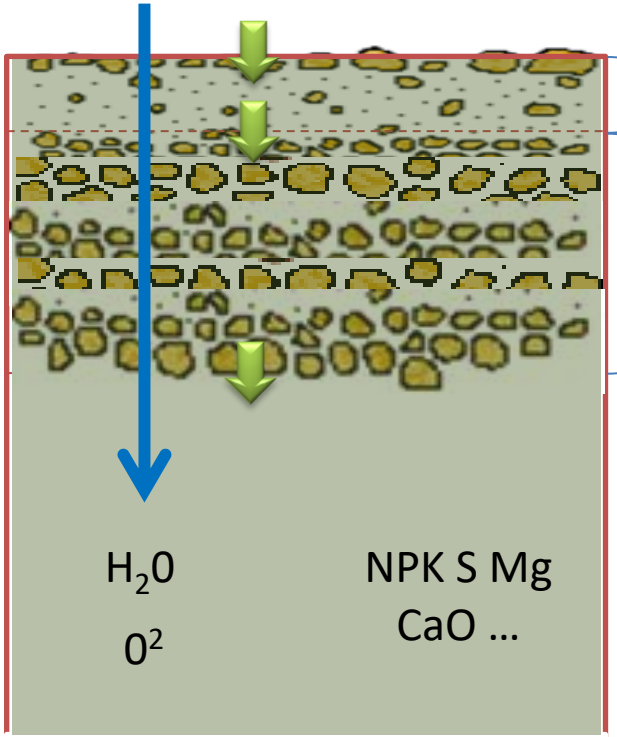
Des problèmes
d'exploration racinaire

# Objectif sol : une organisation verticale

Les racines passent

L'eau et l'oxygène passent

+ accès aux éléments fertilisants




Horizon 0 à 5-10 cm
*Lit de semences*

Horizon 5 à 30 cm
*Enracinement,*
*« Garde manger »*
*→Actions possibles*

Horizon > 30-40 cm
*Enracinement,*
*« Réserves naturelles »*

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Apprendre à observer le sol

# ① Examen des pivots

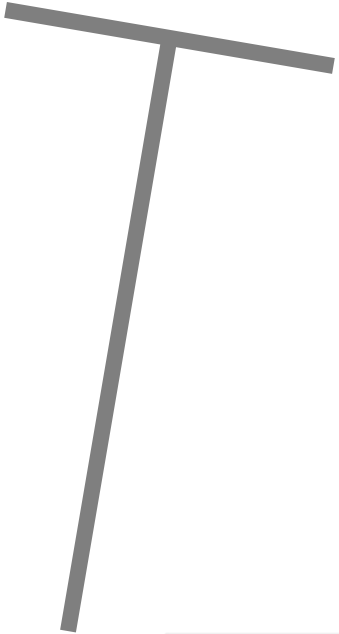
Racine coudée au niveau d'une semelle

Racine fil de fer dans une motte compactée

Racines en arrête de poisson à la surface des structures compactées

Racines velues dans les creux

# ② Sondages à la bêche ou au pénétromètre



ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# ③ Test à la bêche

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# ④ Profil à la bêche

Pour l'agriculture de demain

# ⑤ Profil 3 D = profil au télescopique

Pour l'agriculture de demain

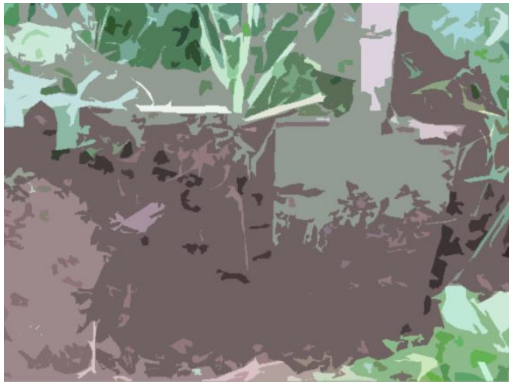
# Quelle(s) méthode(s) dans mon métier ?

- En routine :
  - Examen des pivots
  - Sondages à la bêche ou au pénétromètre
  - Profil à la bêche

- En animation ou à la demande
  - Test à la bêche
  - Profil 3 D (télescopique)

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Observer un sol = comprendre sa fertilité globale en lien avec les MO



**Fertilité chimique**

+

**Fertilité physique**

+

**Fertilité biologique**

=

**Fertilité des sols**

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Fonctionnement organo-biologique des sols : références en Grand Est

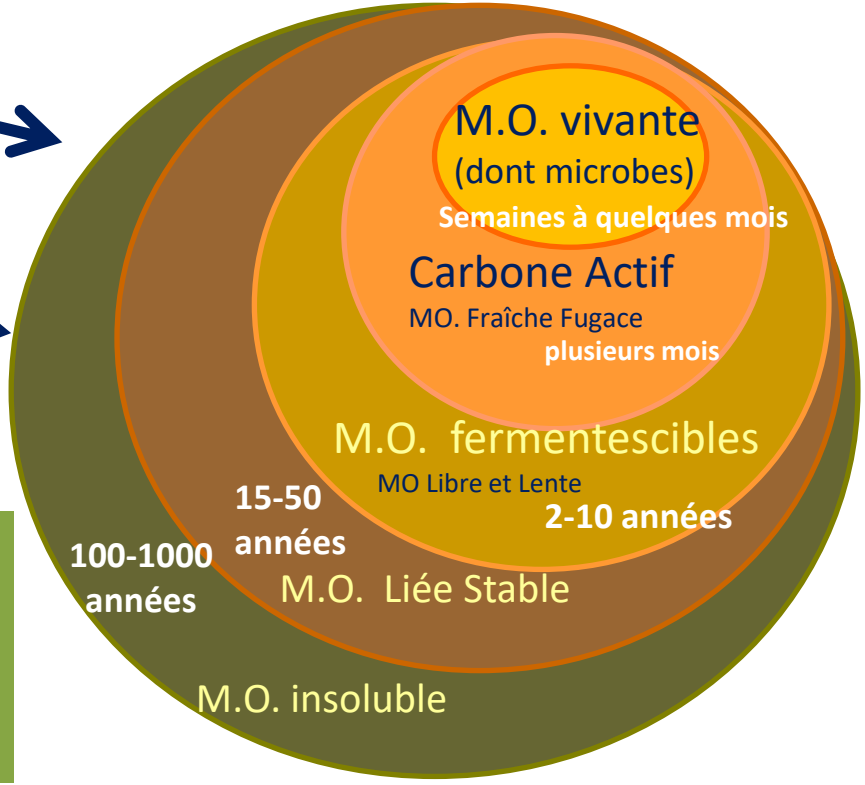
Sophie Maillant, *Chambre d'agriculture du Grand Est*
Christophe Barbot, *Chambre d'agriculture d'Alsace*

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Fractions des Matières Organiques des sols

Déjections animales

Résidus de végétaux




Minéralisation et Humification via digestion par des organismes du sol

Age moyen du carbone des fractions granulométriques, pour des sols cultivés tempérés :
— fraction supérieure à 2 mm : moins de 1 an ;
— 0,2 mm à 2 mm : 2 ans à 5 ans ;
— 0,05 mm à 0,2 mm : 10 ans à 20 ans ;
— 0 mm à 0,05 mm : plus de 50 ans ;
— hydrosoluble : 5 ans à 10 ans.

ACSE air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# 3 analyses pour faire le tour du fonctionnement organo-biologique du sol

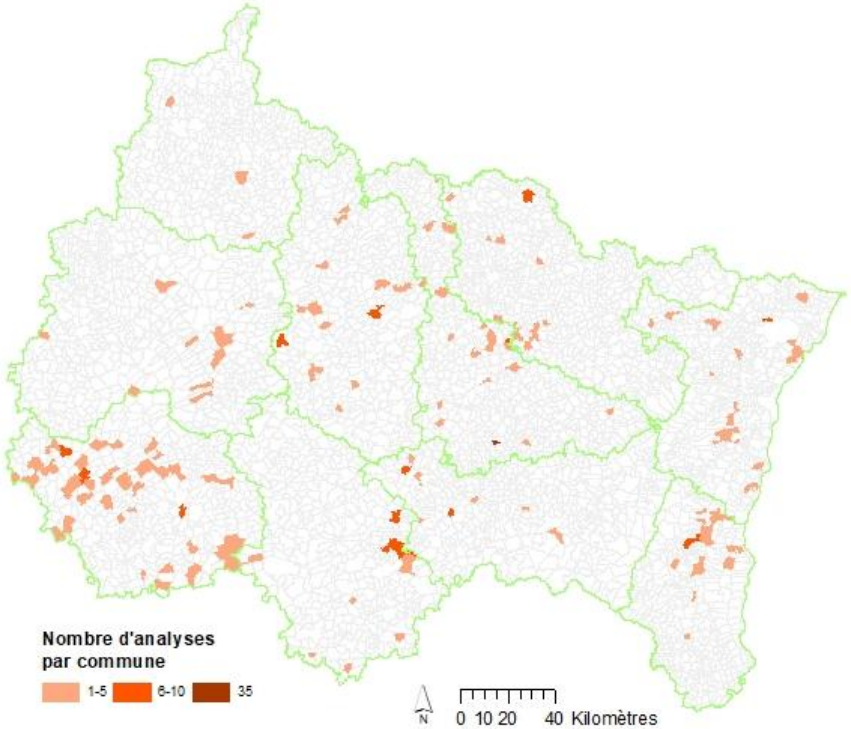
Caractérisation des MO = menu du repas

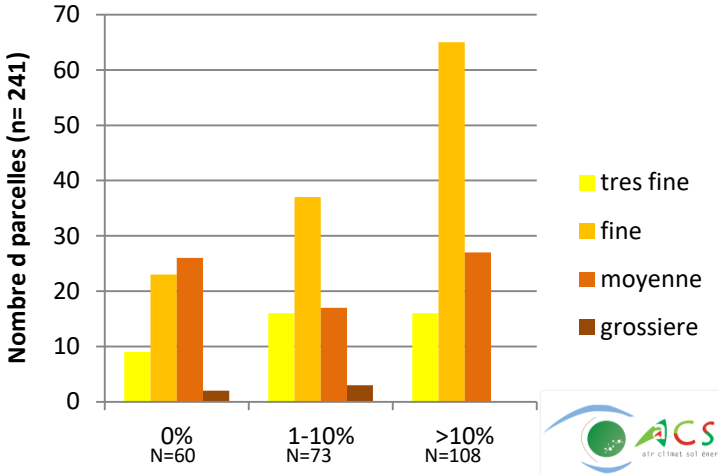
Biomasse microbienne = nombre de convives

Potentiel de minéralisation = productivité du repas

# Résultats en Grand Est : caractéristiques des parcelles

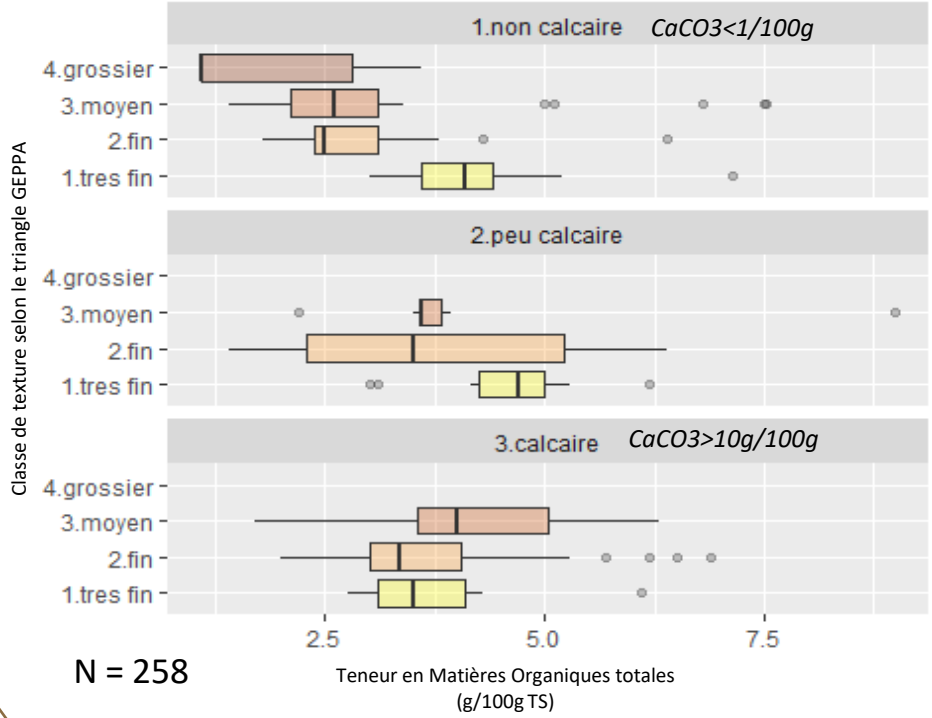
- 430 analyses
- 257 parcelles, dont 90 % en grandes cultures





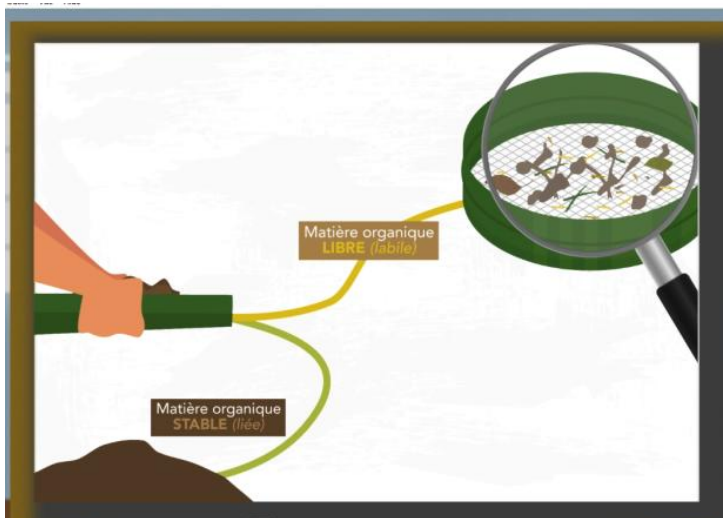

Classes de textures selon les quantités de calcaire

# Quantités de MO totales




N = 258

**Teneurs en MO selon la texture et la teneur en CaCO3**

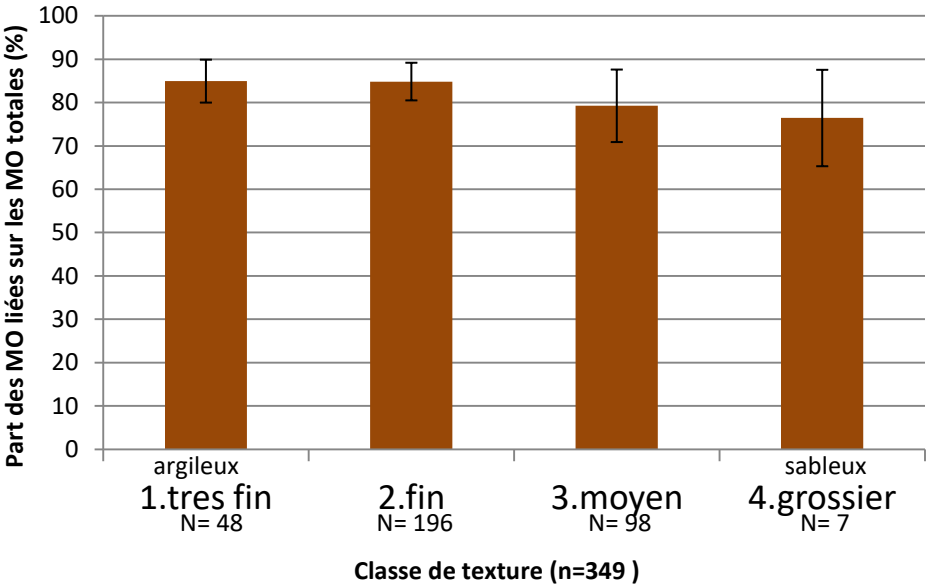



**Séparation des deux fractions de MO (libres et liées) par tamisage (> à 0,05 mm) = fractionnement granulométrique**

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

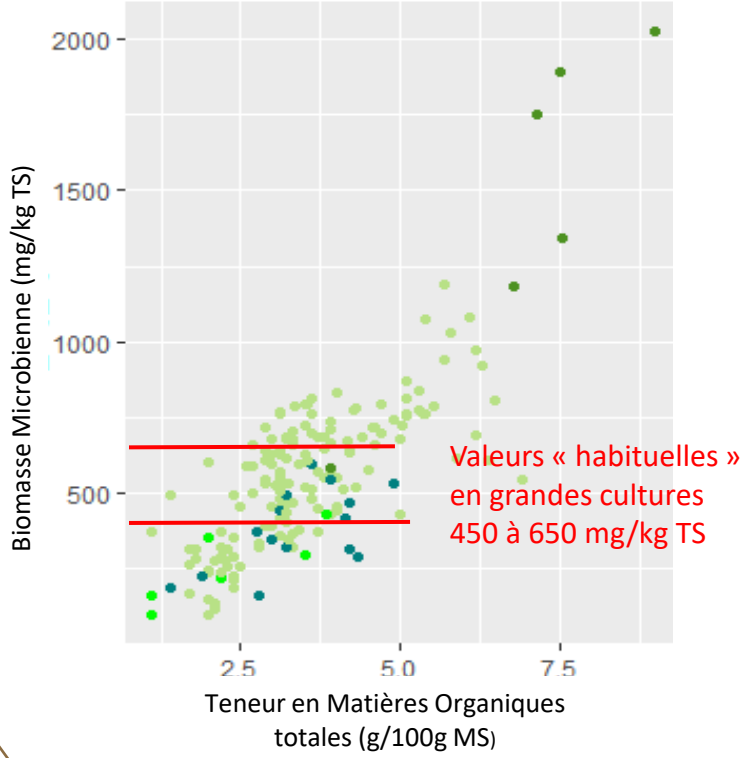
# Qualités des MO : libres ou stables ?

Équilibre entre les deux fractions de MO

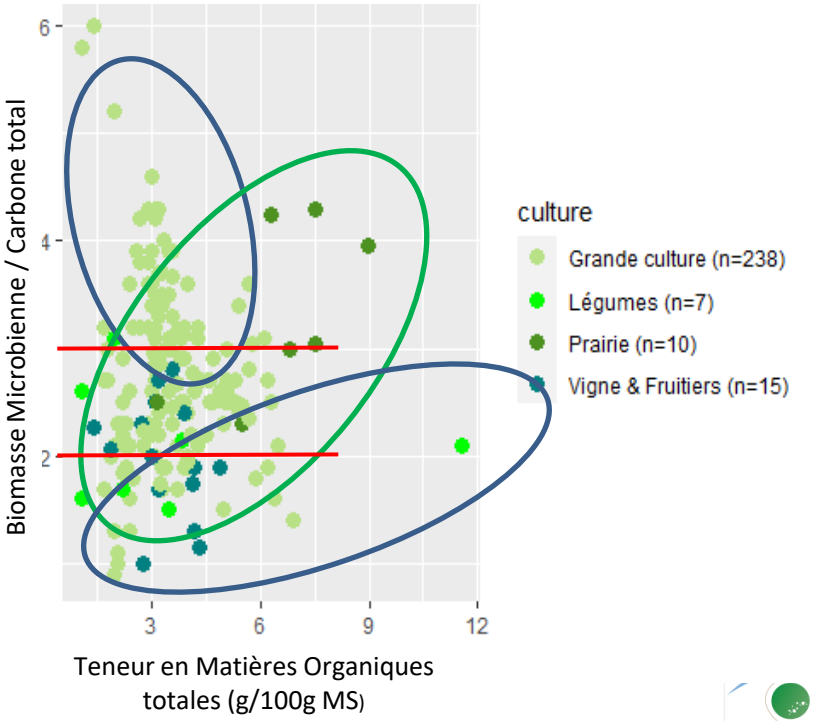


# Abondance des micro-organismes du sol

Biomasse microbienne par fumigation




Part de Biomasse Microbes / Carbone Total



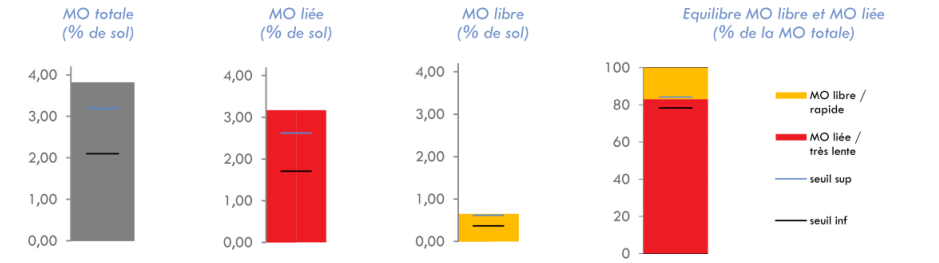

Plus de graphiques ? Consultez la plaquette!

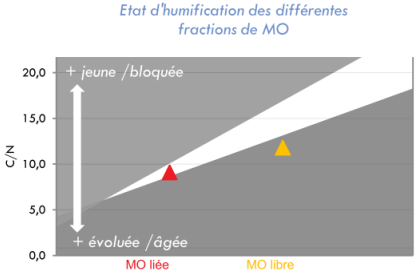
# MOL/ MOS selon les systèmes de cultures

**MO Totales** répartie différemment selon le système de cultures conduits : répartition MOL (jaune) / MOS (rouge)

**MO Libre** (2000-50 µm) par rapport à la **MO Stable** (<50 µm)

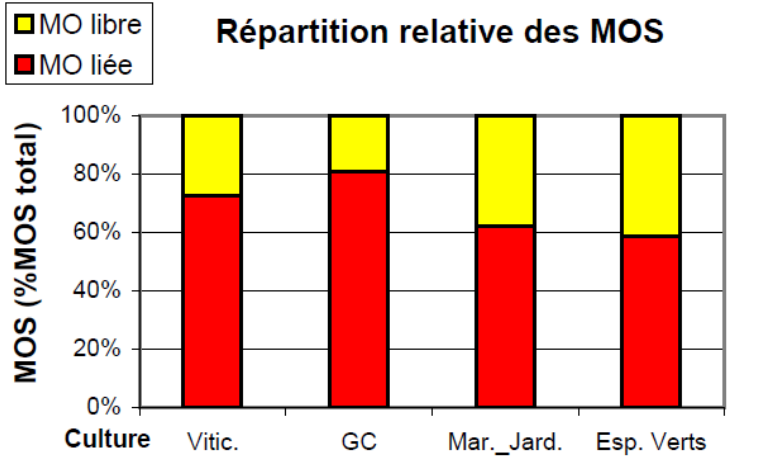
CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL




parcelle: Watterswoerth 2

| | teneur en % de sol | teneur en % de MO | azote (g/kg) | C/N |
|---|---|---|---|---|
| MO totale | 3,8 | | 2,34 | 9,5 |
| MO liée | 3,2 | 83 | 2,02 | 9,1 |
| MO libre | 0,7 | 17 | 0,32 | 11,8 |




25/75 20/80 38/62 40/60

-sols viticoles
-sols de grandes cultures
-sols de maraîchage-jardins
- espaces verts (forte accumulation de tontes).

Celesta-lab
Acteur de votre environnement

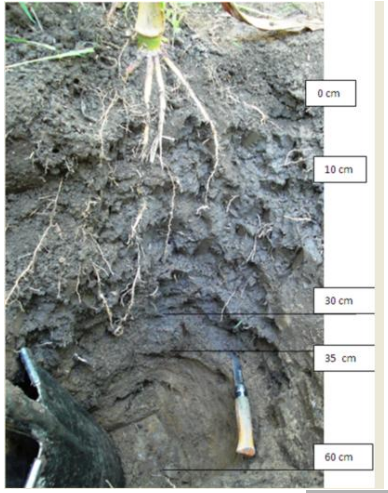
# Etude de cas : Caractériser le site expertisé (historique, conduites, cultures, épandages…)

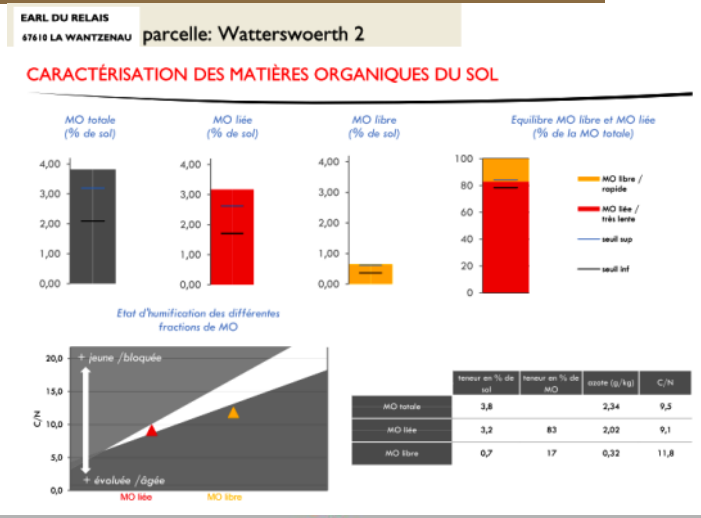
## Site « remonter le temps » et inventaire des historiques d'entrées organiques

Pour l'agriculture de demain

# Etude de cas : Mini-profil + résultats C-Lab

Diagnostic CADS (CA Alsace)
Les critères d'observation :
1/ Profil à la bêche 50 cm x 50 cm x 50 cm
2/ Analyse Diamant (Celesta-Lab)



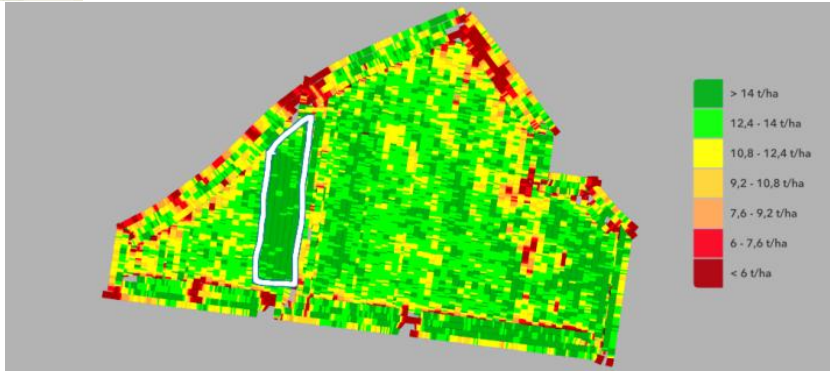




– Pistes de travail avec l'agriculteur :

- Son historique et ses pratiques
- Ses rendements / Fournitures N

– Caractériser l'efficacité biologique :

- Structure : (air-eau) habitat, géologie, exposition de la parcelle bassin versant, profondeur Tf et réserve en eau
- Moteur microbien : BMM, C labile Cstable, C-min. N-min.
- Plantes : type de racines, bio-indication, C sucres
- Vitalité : booster la flore favorable (apports de PRO)



# Etude de cas : Comprendre des différences entre parcelles grâce à l'analyse biologique des sols.

Qualité et quantité des M.O.

répartition des MO

proportion carburant "rapide" MOL et carburant "lent" MOH

| | I | II | | |
|---|---|---|---|---|
| Matière Organique Libre | MOL 0,50 % | MOL 0,70 % | 17 | 17 |
| Matière Organique Humus | MOH 2,10 % | MOH 3,20 % | 83 | 83 |
| Matières Organiques | MOT 2,60 % | MOT 3,80 % | 100 | 100 |
| C/N MOL | 10,2 | 11,8 | qualité du carbone rapide | |
| C/N MOH | 8,4 | 9,1 | qualité des humus du sol | |

faible (15) — moyen (20) — élevé (25)

faible (75) — moyen (80) — élevé (85)

énergie faible (8-9) — rythme normal de minér. (10-15) — rythme ralenti minér. (15-20) — immobilisation N possible — immobilisation N certaine (25-30)

humus anciens (7-8) — bon tempo humus (8-10) — tempo passable humus (10-12) — humus ralenti blocage (12-15)

Masse microbienne

| BMM | I | II | |
|---|---|---|---|
| Carbone microbien | 407 | 616 | mg Cmic/kg |
| Part Cmic/Corg | 2,7% | 2,8% | |

faible (150) — moyen (300) — élevé (600)

bio-masse microbienne par fumigation (chloroforme ) — soit déstockage rapide BMM de 167 N - 129 P - 109 K - 11 Mg (kg/ha)

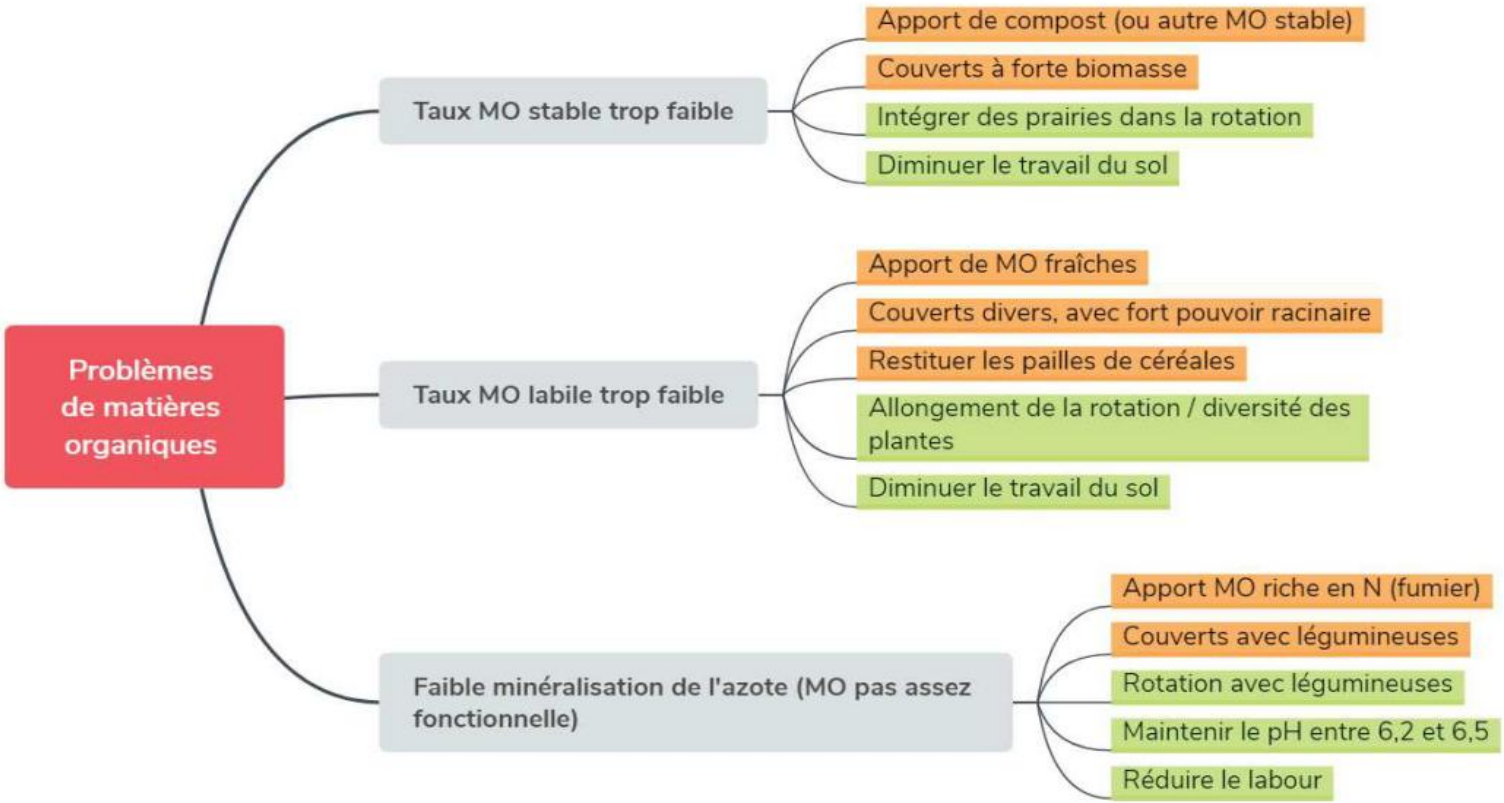
Réactivité organique

| M.O. Labile | I | II | | |
|---|---|---|---|---|
| **Azote min.** 28 j. | **17,6**** | **27,6*** | mg N/kg | |
| Part Nmin./Ntot | 1,0% | 1,2% | **très faible 1/7 | **soit 73 et 114 kgN/ha/an** |
| (indice de minéralisat°) | très faible | faible | *satisfaisant un peu faible 3/7 | |
| **Carbone** minéralisé 28 jours | **360** | **634** | mg C/kg | |
| Part Cmin./Corg | 2,4%** | 2,9%* | *satisfaisant un peu fort 5/7 | |
| | | | **satisfaisant un peu faible 3/7 | |

faible (10) — moyen (30) — élevé (60)

faible (300) — moyen (400) — élevé (800)

# Evolutions possibles des pratiques agricoles par rapport au Diagnostic des MO du sol



# Action PICASOL

**Promouvoir des Indicateurs Caractérisant l'Activité biologique des SOLs.**

-aide au choix d'indicateurs de fertilité du sol

-Formations pour agriculteurs

-Formations de conseillers

-Diagnostics de fertilité des sols

https://bit.ly/picasol-1

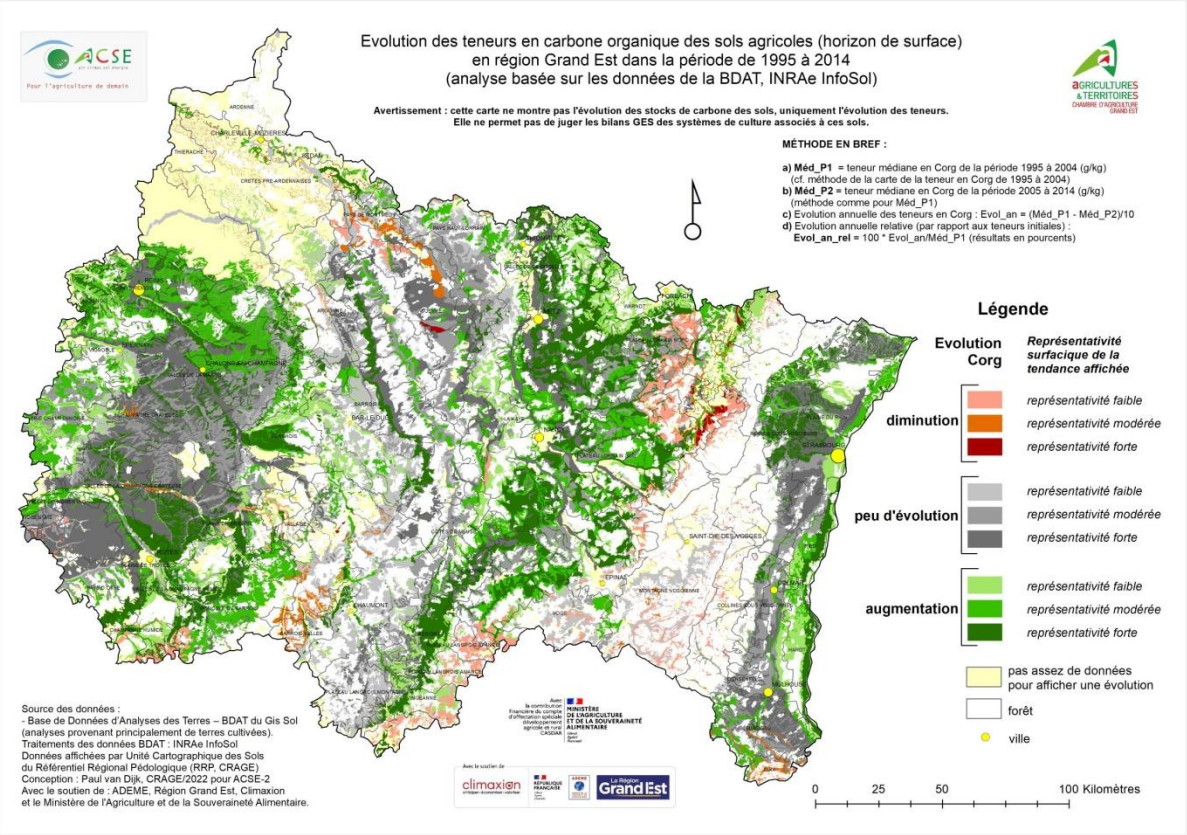
Pour l'agriculture de demain

# L’évolution des teneurs en Carbone organique des sols : cartes en main

Sylvain Duthoit, *Chambre d’agriculture de la Marne*
Paul Van Dijk, *Chambre d’agriculture du Grand Est*

Pour l’agriculture de demain

# Evolutions des teneurs en Carbone organique des sols entre 1995 et 2014

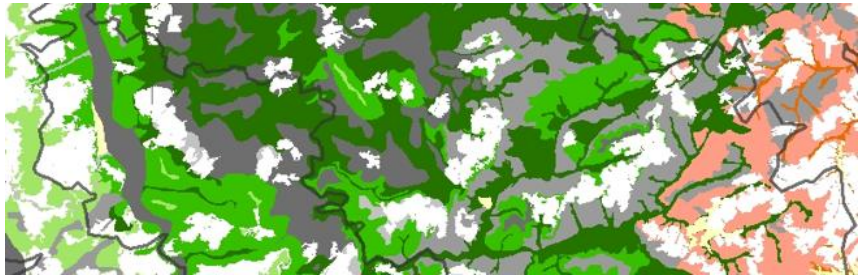



ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# L'évolution des teneurs en carbone organique des sols

## Données et méthodologie utilisées pour une cartographie GE

Paul van Dijk (CRAGE)



Avec des contributions de :

Sophie Maillant, Joëlle Sauter (CRAGE)
Laura Gay, Nicolas Saby (INRAe Infosol)

Pour l'agriculture de demain

# L'évolution des teneurs en carbone organique des sols : données et méthodologie utilisées pour une cartographie GE

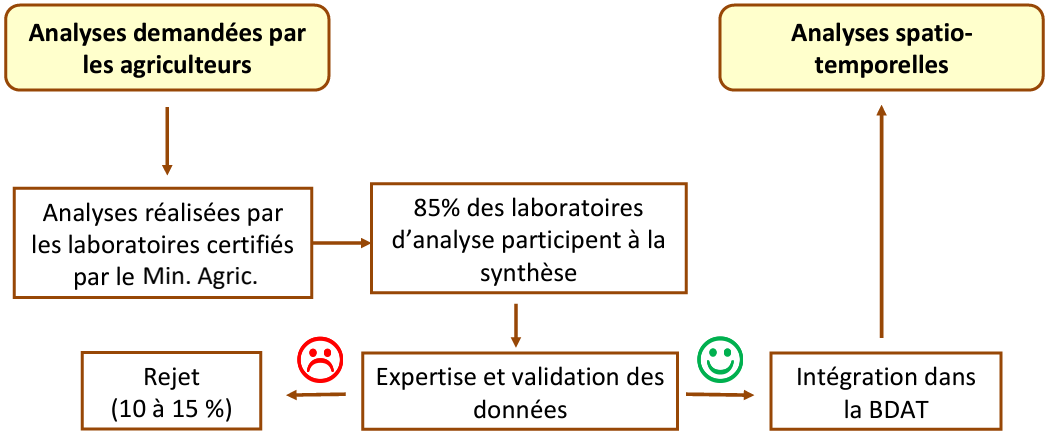
- Pourquoi les teneurs en carbone organique évoluent-elles dans le temps ?
  - Le cycle du carbone est complexe et dépend d'une multitude de facteurs dynamiques
    - Climat, occupation du sol, sols, systèmes de culture, rendements et restitution des MO au sol, apports….
- Pourquoi s'y intéresser ?
  - Fertilité sols (biol., phys., chim.), stockage Corg , compensation émissions GES, références et alertes
- Comment faire une telle cartographie ?
  - par modélisation : possible en principe mais demande la reconstitution des facteurs déterminants dans le temps → manque de données suffisamment précises → fortes incertitudes des résultats
  - données des analyses de terre séquentielles au même endroit : exemple RMQS → qualité de données exceptionnelles mais densité des points trop faible pour une cartographie pertinente des évolutions en région GE
  - **statistiques des données d'analyses de terre attribuables aux unités spatiales et agrégées par période : exemple Base de Données d'Analyses de Terre (BDAT)**

Cette présentation explique brièvement les méthodes et les limites de l'utilisation de la BDAT pour cette cartographie

# La Base de Données d'Analyses de Terre (BDAT)

## Procédure de constitution de la BDAT

Analyses venant principalement des terres arables



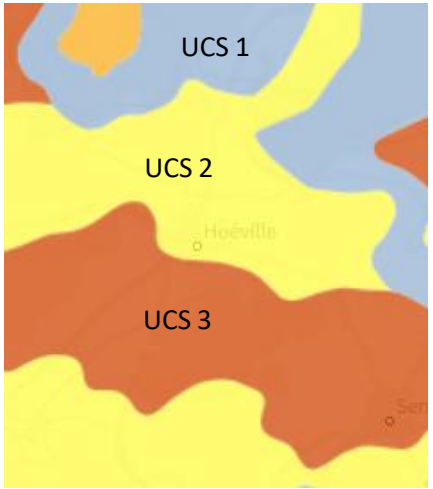

*Source : Lemercier et al, 2011*

**Caractéristiques des données :**

- **Localisation :** imprécise – commune d'origine
- **Echantillonnage :** pas de contrôle a priori
- **Protocoles analytiques :** communs à tous les laboratoires qui participent

# Unités Cartographiques (UCS) et Typologiques des sols (UTS)

- Unités Cartographiques des Sols (UCS) : localisées sur la carte
- Elles se présentent comme les polygones qui composent la carte
- Chaque UCS est composée d'un ou plusieurs types de sol (UTS) qui eux ne sont pas spatialisés mais dont on connait la part surfacique dans l'UCS




UCS 1 : composée des UTS 11 (60%), UTS 12 (30%) et UTS 13 (10%)
UCS 2 : composée des UTS….
…

# Données BDAT reçues d'Infosol (INRAe)

- Tableau avec des **statistiques sur les teneurs en carbone organique** par Unité Cartographique de Sol (UCS) et par Unité Typologique de Sol (UTS) du Référentiel Régional Pédologique (RRP) à 1/250 000 de la région Grand-Est pour
  - A) la période de 1995 à 2004
  - B) la période de 2005 à 2014

médiane

Extrait

| id_ucs_cib | id_uts | pourcent | periode | nombre d'échantillons | min | moy_C | med_C | max |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 33900 | 2917 | 38 | [1995,2004] | 77 | 8.43 | 17.26 | 15.00 | 50.99 |
| 33900 | 2917 | 38 | (2004,2014] | 46 | 10.70 | 17.98 | 16.58 | 39.00 |
| 33900 | 4689 | 3 | [1995,2004] | 205 | 6.10 | 11.52 | 10.35 | 47.50 |
| 33900 | 4689 | 3 | (2004,2014] | 144 | 6.50 | 11.83 | 11.00 | 27.90 |
| 33900 | 11355 | 52 | [1995,2004] | 200 | 6.69 | 12.92 | 11.80 | 58.30 |
| 33900 | 11355 | 52 | (2004,2014] | 151 | 7.00 | 13.10 | 12.20 | 29.10 |
| 33900 | 14893 | 7 | [1995,2004] | 69 | 9.88 | 18.44 | 17.60 | 36.05 |

*Attribution des analyses de la BDAT aux UTS selon la méthode Scheurer et al. (2020) développée pour ABC'Terre. Cette méthode exige que la teneur en Corg soit* ***associée à des analyses de teneurs en argile et calcaire .***

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Traitements des données statistiques pour élaborer la carte

1. Utilisation des **teneurs médianes** des UTS fournies par Info&Sol (plus robustes que les moyennes) des deux périodes
2. **Sélection des UTS** ayant des teneurs médianes basées sur suffisamment d'analyses pour une caractérisation solide. Les critères utilisés pour la sélection :
   1. densité des points dans l'UTS > 1 analyse/40 ha (similaire à la densité de sondages tarière exigée pour une cartographie des sols à l'échelle de 1/250 000)
   2. Nombre minimal d'analyses dans l'UTS > 10

   Les UTS qui ne correspondent pas aux critères sont supprimés de l'analyse de l'évolution Corg.
3. Pondération des médianes retenues en fonction de leur surface dans l'UCS pour obtenir les médianes représentatives des UCS pour les deux périodes

ACSE air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Traitements (suite)

4. Méd_P1 (UCS) = teneur médiane en Corg de la période 1995 à 2004 (g/kg)
5. Méd_P2 (UCS) = teneur médiane en Corg de la période 2005 à 2014 (g/kg)
6. Evolution annuelle des teneurs en Corg = (Méd_P1 - Méd_P2)/10
7. **Evolution annuelle relative** (par rapport aux teneurs initiales)
   = 100 * Evol_an/Méd_P1 (résultats en pourcents)
8. **Représentativité de l'évolution affichée** au sein de l'UCS
   = somme des surfaces des UTS retenues/surface UCS

Limites / critiques :

- L'attribution des analyses aux UTS limite le nombre d'analyses utilisables
- La densité d'analyses est variable dans l'espace et par période
- L'origine des analyses est variable dans le temps (est-ce qu'on compare la même chose entre les périodes ?)

# Conclusion

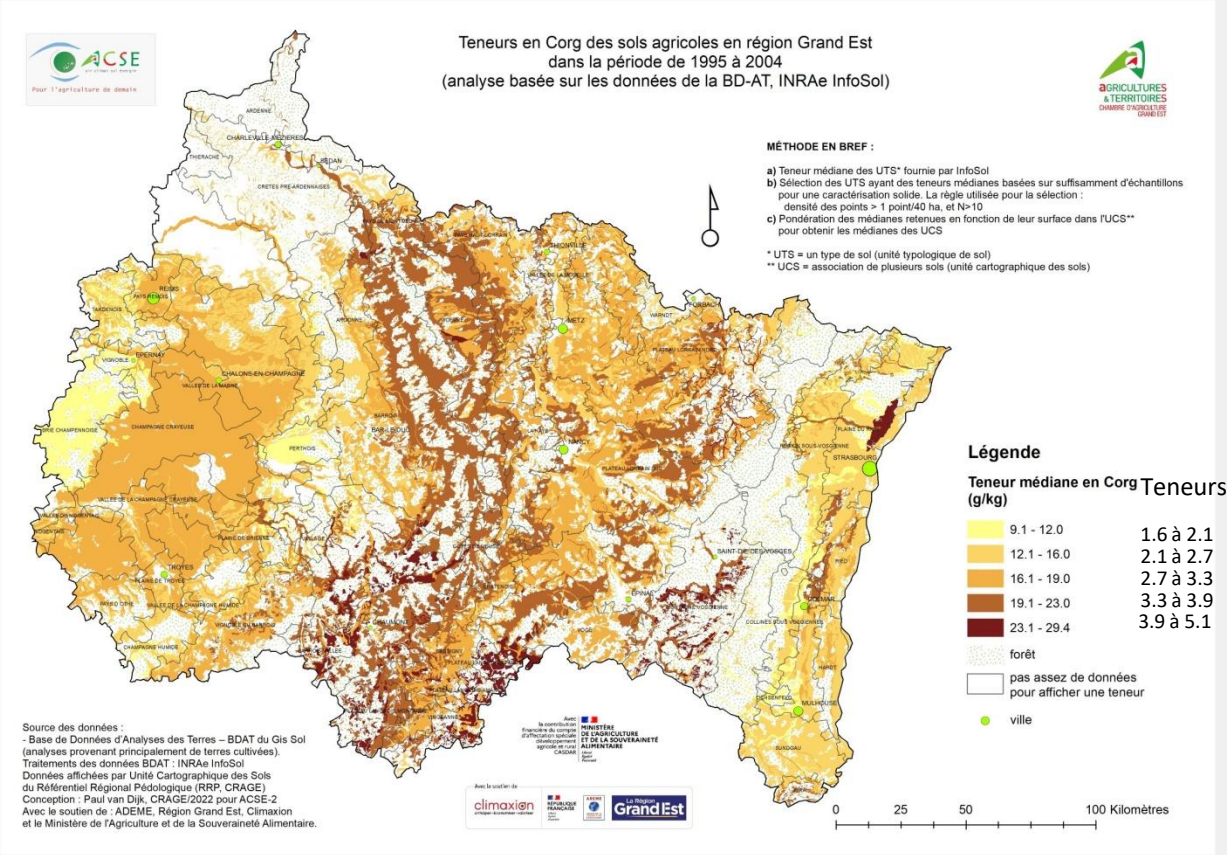
Produits disponibles :

→ Carte avec l'évolution relative et la représentativité : **présentation de Sylvain Duthoit**

→ Fichier excel avec les **évolutions par UTS** ! Aide à comprendre et préciser les évolutions affichées sur la carte

Comment interpréter les résultats ? Sujet pour ACSE 2023-2025…

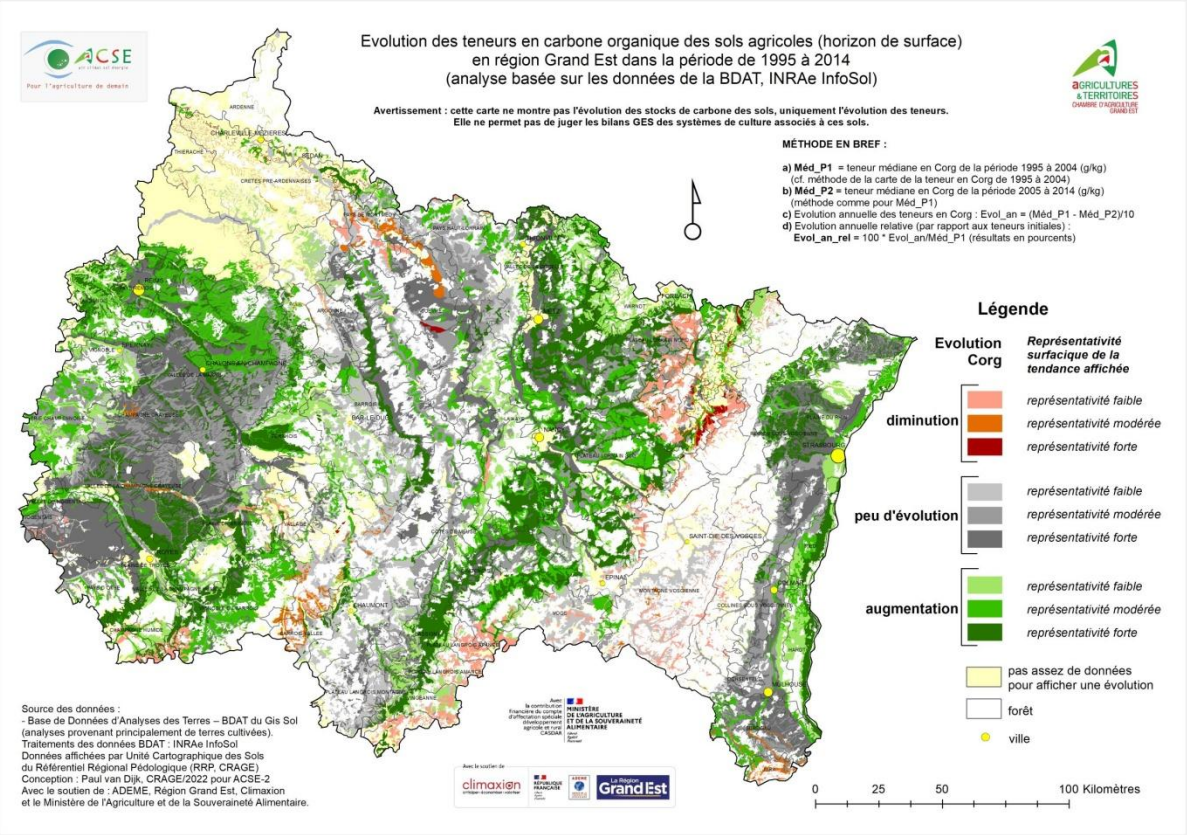
# Teneurs en Carbone organique des sols mesurées entre 1995 et 2004




Teneurs médianes en MO (g/100g)

1.6 à 2.1
2.1 à 2.7
2.7 à 3.3
3.3 à 3.9
3.9 à 5.1

# Evolutions des teneurs en Carbone organique des sols entre 1995 et 2014




ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain

# Premières pistes de compréhension

Diminution de l'élevage et retournements de prairies, PAC 1992

Pas d'hypothèse

Stabilisation par le calcaire

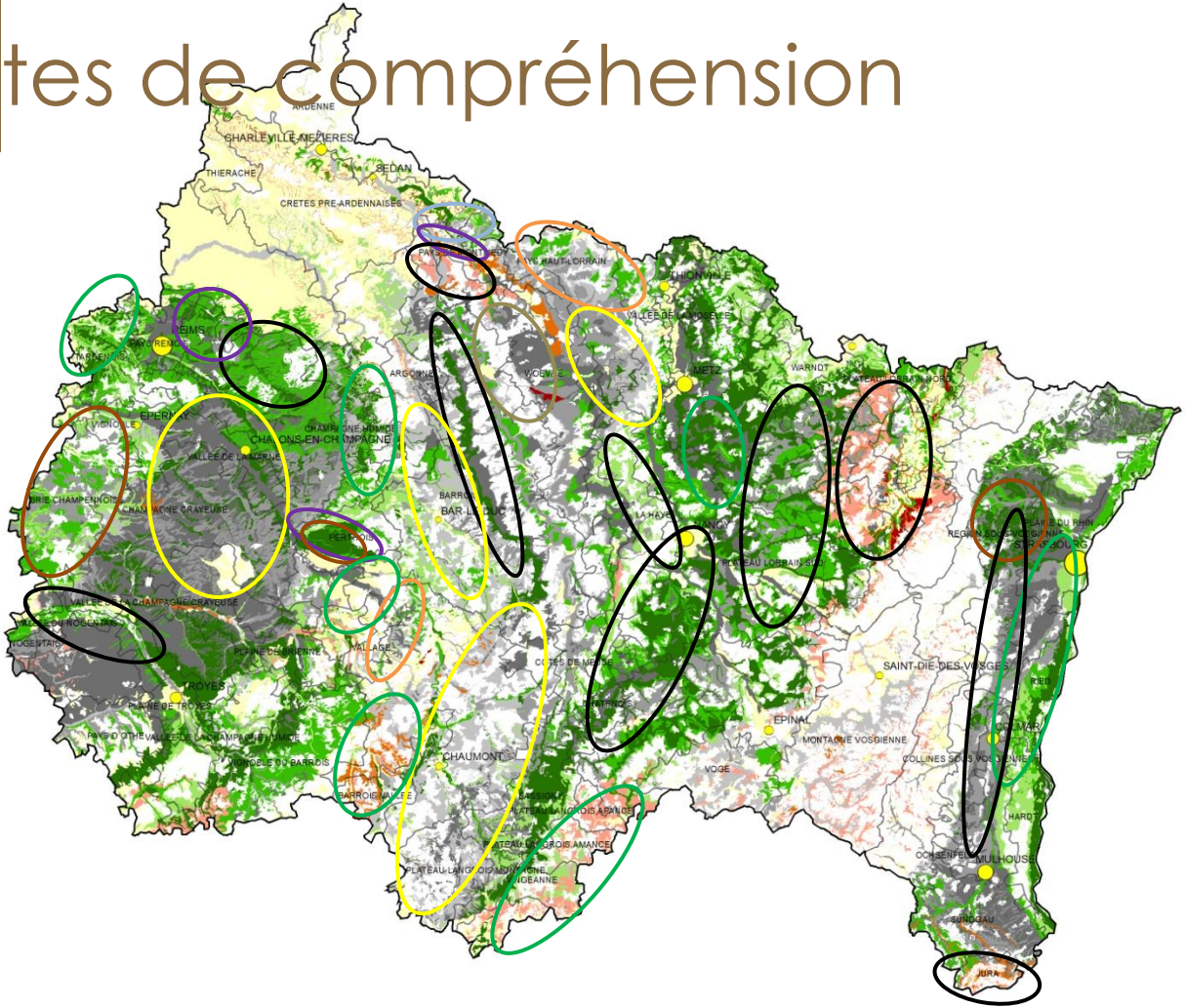
Remise en herbe

Apports de PRO liés à une industrie locale

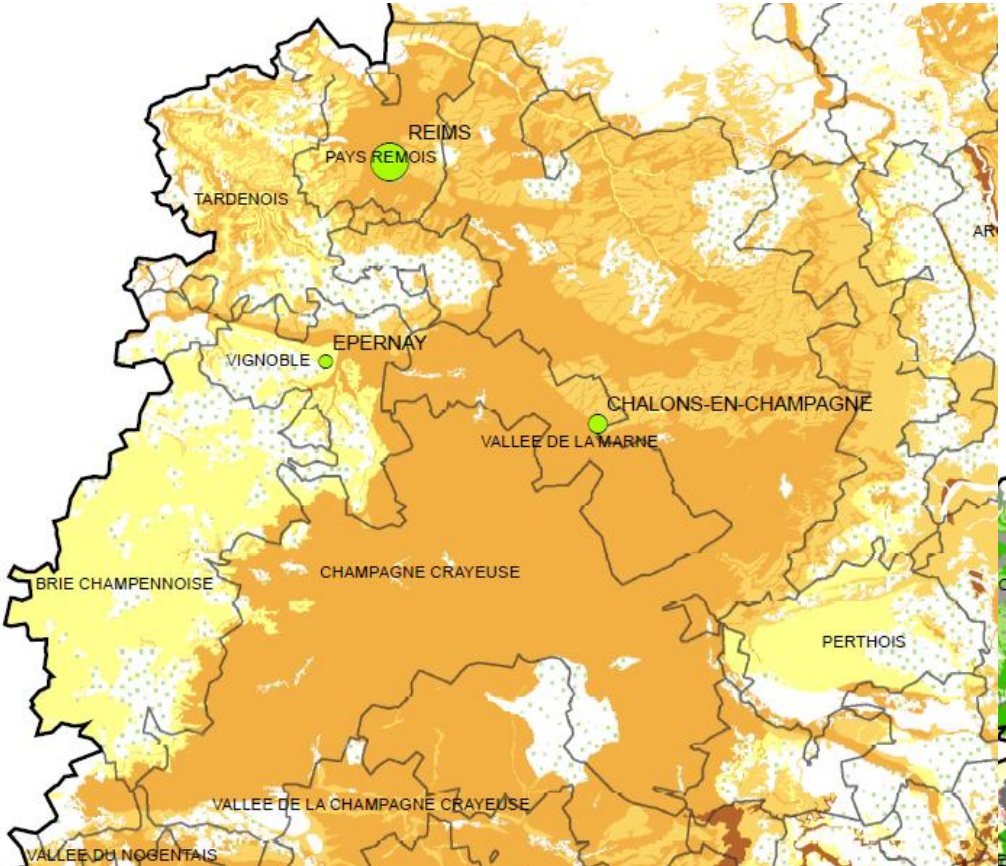
Faible MO initiale

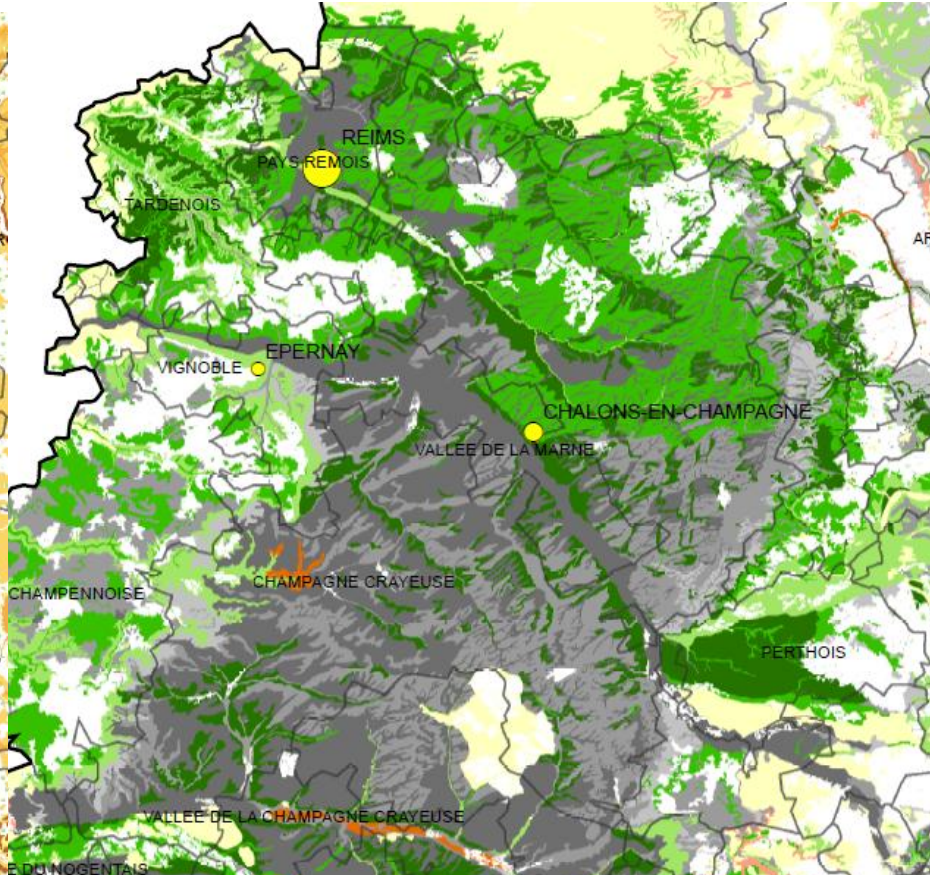
Passage au TCS, labours moins profonds et moins fréquents

Labours fréquents



# Gros plan sur la Marne



# FERTILITÉ DES SOLS ET STOCKAGE DE CARBONE

## Place aux questions !

ACSE
air climat sol énergie
Pour l'agriculture de demain