



Séquestration de CO₂ et agriculture

Bases, faits, questions

Pascal Boivin

Professeur Agronomie - HEPIA

pascal.boivin@hesge.ch

De quoi parle-t-on ?



Humus = matière organique (MO)

- Des résidus végétaux et animaux décomposés, condensés en humus, intimement liés à la matière minérale (les argiles)



Analyse de sol :

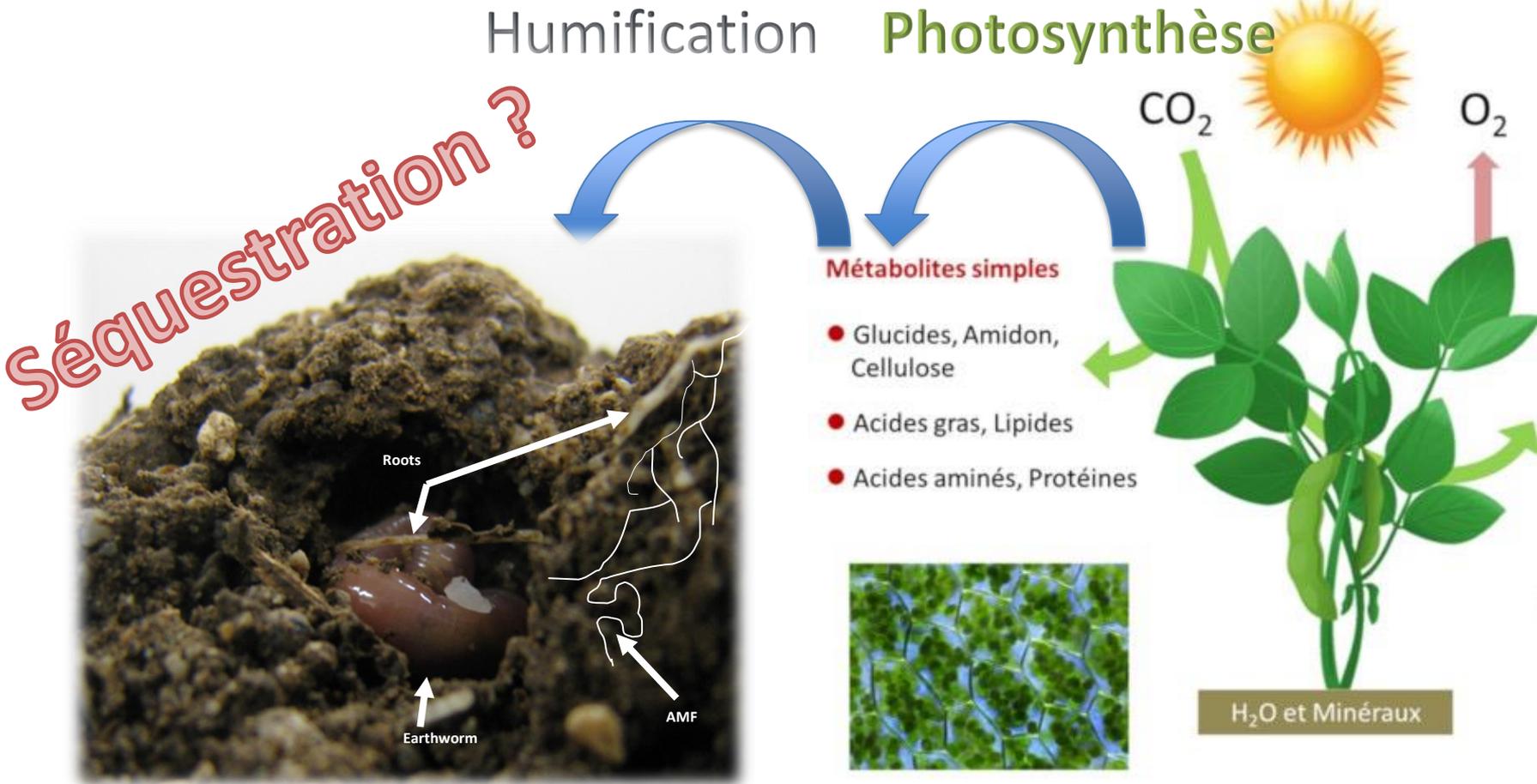
- Mesure de Corg
- Conversion en MO

$$MO = Corg \times 1.73$$

Humus et carbone organique (Corg)

- Près de 60 % de carbone organique
- $1t \text{ Corg} = 3.66 t \text{ CO}_2$

Plantes – sols et cycle du carbone



encyclopedie-environnement.org

Carbone organique du sol

- Surtout en surface (0-30 cm) – mais présent sur +/- 2 mètres

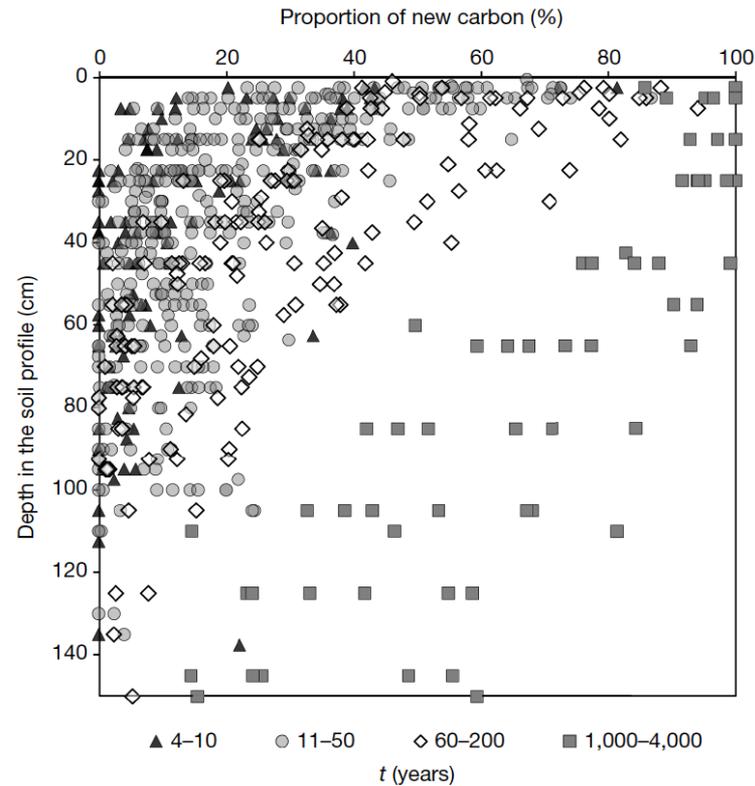
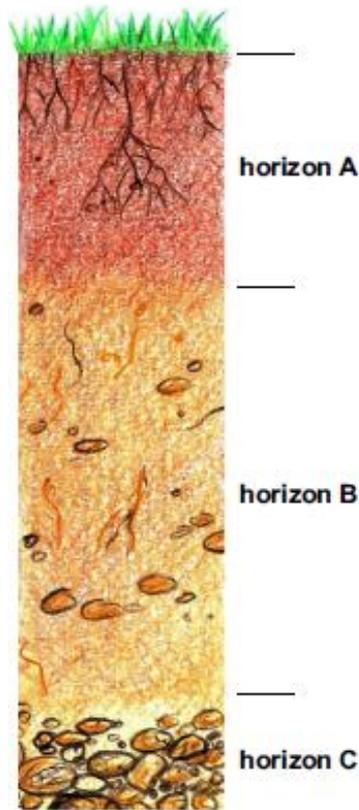


Fig. 1 | Observed proportions of new carbon in 112 soil profiles. For each soil sample, the proportion p of new carbon atoms was determined by the change in the soil carbon ^{13}C signature following a change in the ^{13}C signature of the vegetation for a given duration t ; p is the proportion of carbon atoms younger than t^{21} . Data are presented in four classes of duration t .

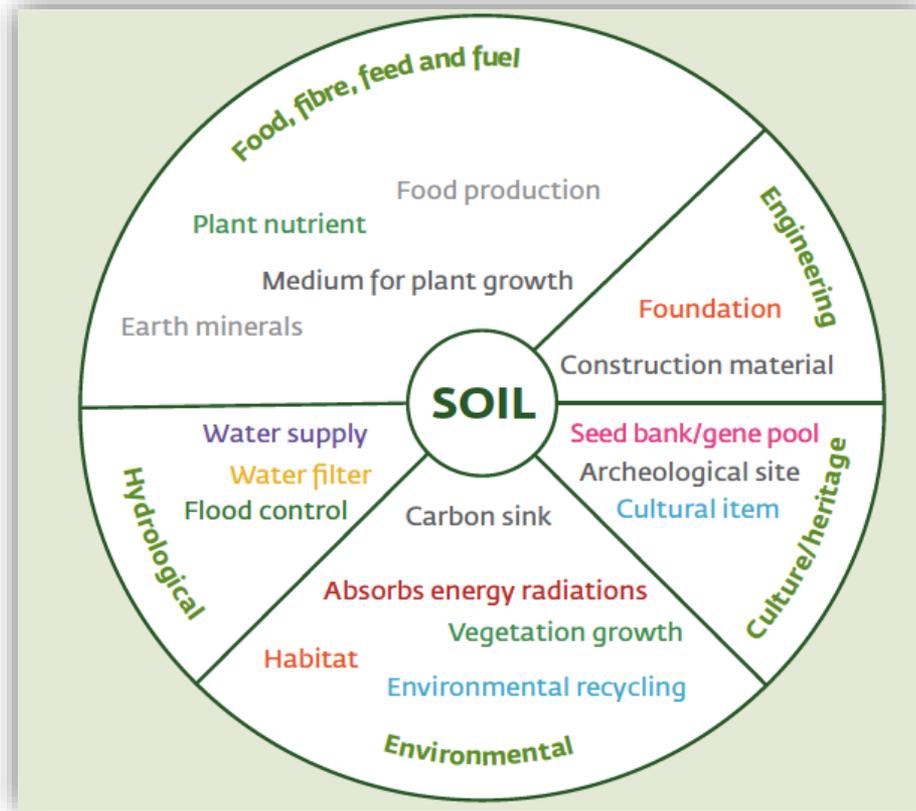


La qualité du sol ?

« L'aptitude d'un sol à fonctionner »
= à remplir ses fonctions

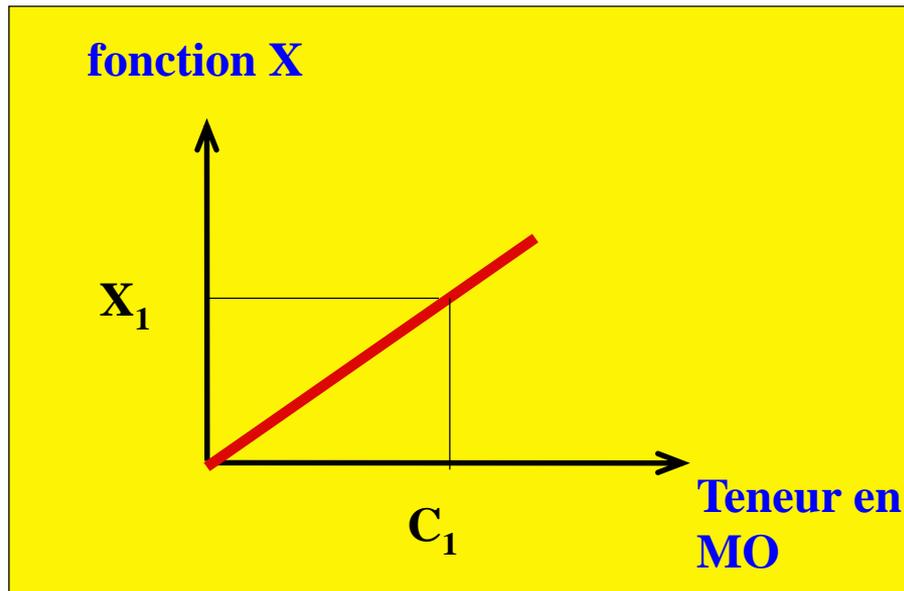


Les sols clé de voûte des écosystèmes terrestres



- «La dégradation des sols empire et est maintenant critique, elle met en péril le bien être de 3.2 milliards de personnes» IPBES – 2018

Qualité du sol, un indicateur central: la teneur en matière organique (MO)



Fonctions dans l'écosystème
Fonctions dans les sols

- Porosité
- Rétention d'eau
- Aération
- Infiltration
- Portance
- Stabilité – résistance mécanique
- Activité biologique
- Réserve de nutriments
- Biodiversité
- Thermique
- Epuration
- Etc.

Fertilité
physique

Perte jusqu'à 50 à 70% dans les sols cultivés



hepia - Agronomie

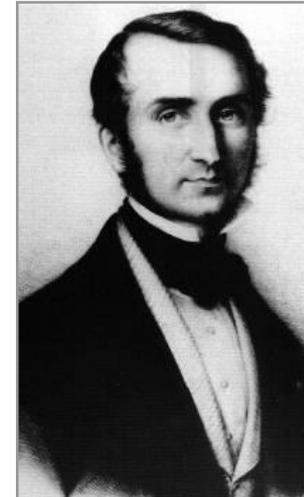
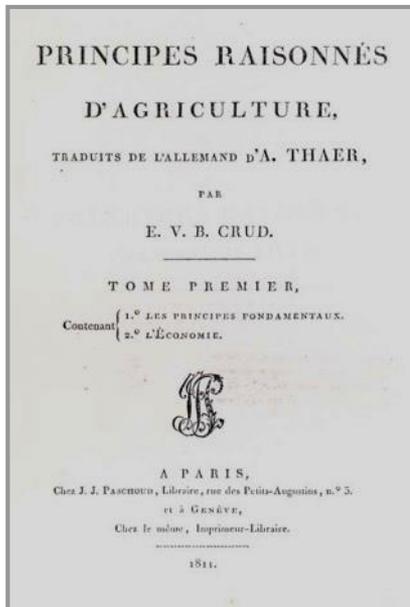
Portance et humus



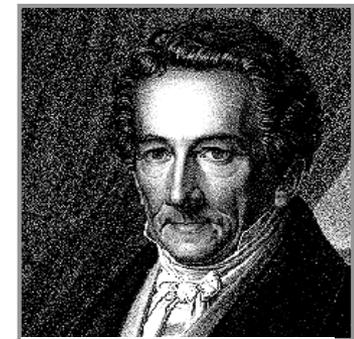
La fertilité – aspect historique

Feller, SOM history, 2004

- Théorie de l'Humus (THAER, 1809-1812), la fertilité dépend en partie du bilan humique
- Contre théorie Minérale (LIEBIG, 1840): une question de fertilisation minérale



Julius Liebig



Albrecht Thaer

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Labour et augmentation de la pression mécanique



- Machinisme: après la seconde guerre mondiale
- Labour plus profond
- Machines plus puissantes
- → perte de carbone organique (dilution et minéralisation)
- → Stress physique (tassement – éclatement – cisaillement)



Pour bien se comprendre...



Pores structuraux

Distribution air-eau

Habitat biota

→ **Fertilité physique**

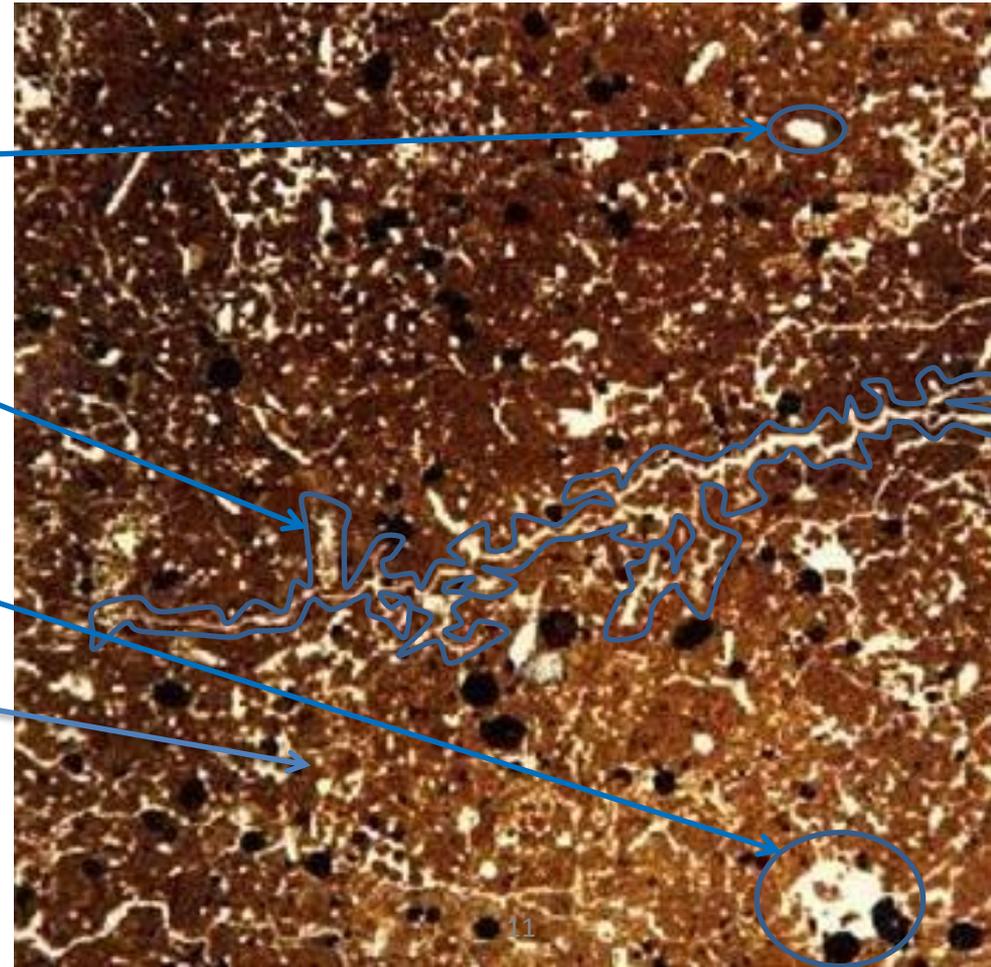
Biopore

Fissure

**Vide d'assemblage,
lacune**

Plasma

(argiles enrobées
de MO et oxides)



Rôle de la structure



Distribution air – eau

Habitat pour le vivant

« La structure d'un sol désigne le mode d'assemblage, à un moment donné, des constituants d'un sol.

La structure, contrairement à la texture qui ne change pas, est un état qui évolue dans le temps. »

(Lozet et Mathieu, 1990)



Notions associées



- La **résistance** est la capacité de la structure à se maintenir (face à un stress).
 - Elle dépend de la teneur en MO, de la texture (qui ne change pas) et des conditions météorologiques.
- La **résilience** est la capacité de la structure à se régénérer.
 - Elle diminue et augmente avec la teneur en matière organique (MO). Elle varie selon les types de sol (invariants). Elle se fait sous l'action de processus biotiques (activité biologique) et abiotiques (gonflement retrait, gel-dégel).
- La **vulnérabilité** combine les propriétés de résilience et de résistance. **Elle dépend donc fortement de la teneur en MO.**

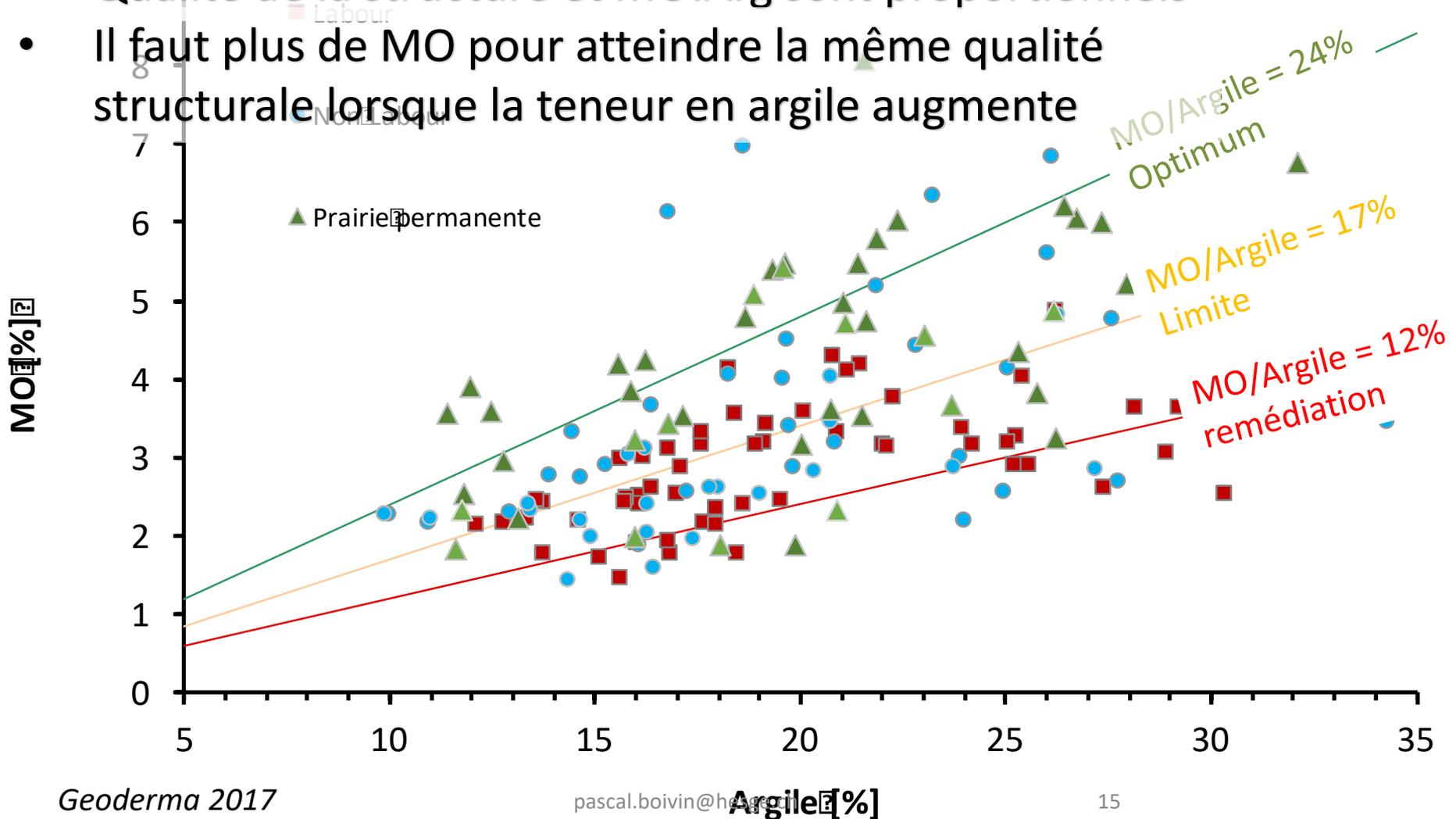
Combien faut-il de matière organique dans nos sols ?



Une échelle de vulnérabilité



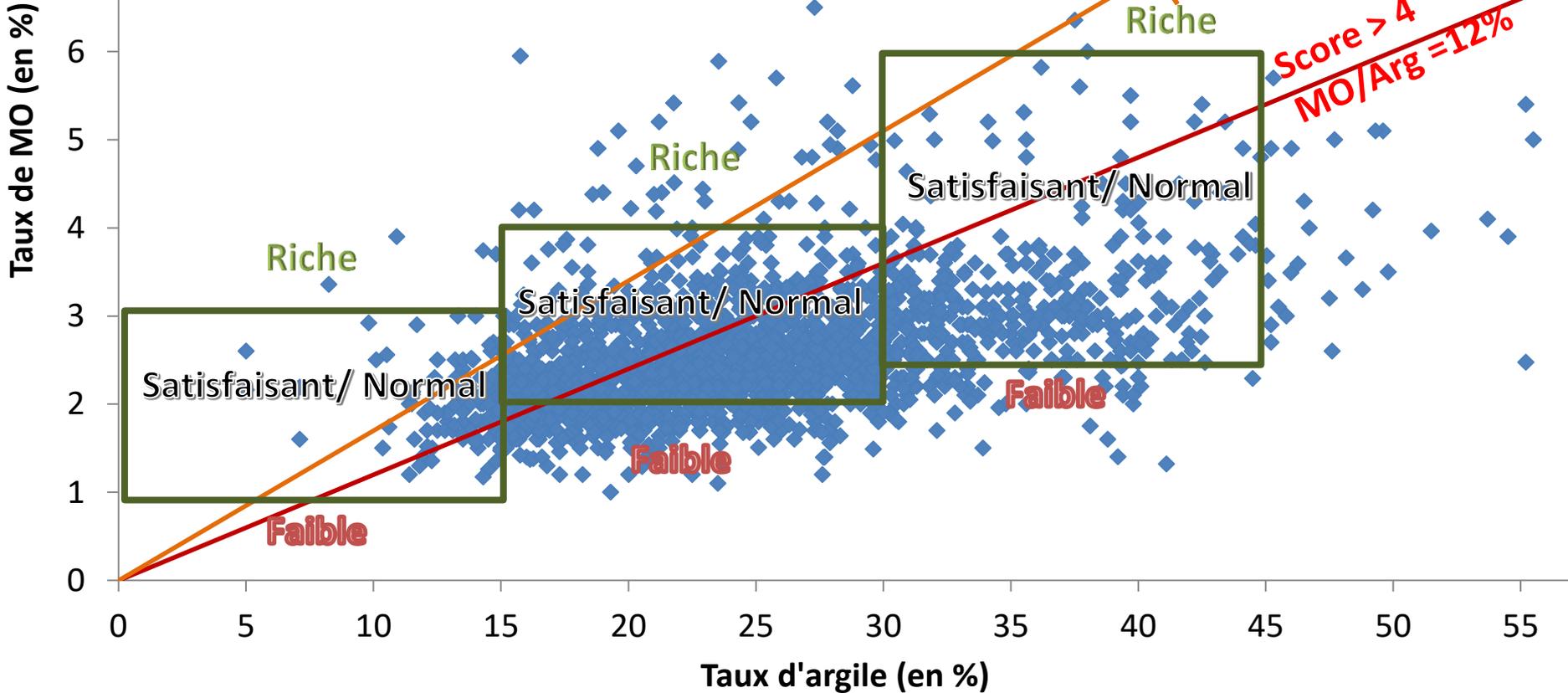
- Qualité de la structure et MO:Arg sont proportionnels
- Il faut plus de MO pour atteindre la même qualité structurale lorsque la teneur en argile augmente





Etat actuel des sol - Ex. de Genève

- 75 % des sols seraient «satisfaisants» selon OFAG
- En moyenne MO:Argile= 10%



Le bon rapport MO/Argile



- Une condition nécessaire pour un sol de bonne qualité
 - Meilleure résistance de la structure sous la contrainte
 - Régénération plus rapide
- Mais quelle que soit la teneur en MO on peut compacter
- Une condition nécessaire mais pas suffisante
 - Importance de faire le test bêche et le profil cultural



La composante climatique



Un chiffre pour rêver

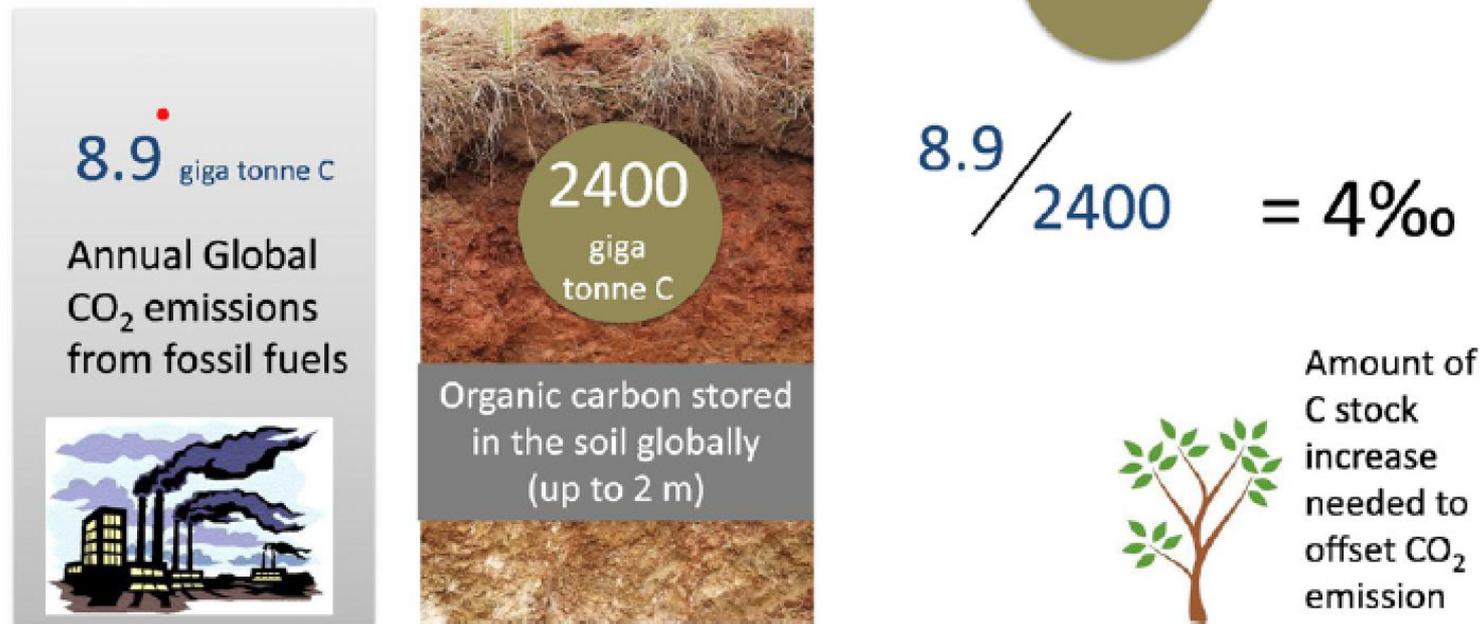


Fig. 1. The 4 per 1000 soil carbon sequestration initiative (adapted from Ademe, 2015).

Climat et agriculture



“ An annual increase of the world soil organic carbon by 4‰ (or 0,4%) of its value can halt the annual increase in CO₂ in the atmosphere “

The 4per1000 Initiative, COP21 (2015)

Source: UNID



Storing CO₂ as soil organic matter (SOM) is the only NET that is both effective, affordable and immediately deployable at large scale

EASAC (2018)

4/1000



$$MO_{\text{Année 2}} = MO_{\text{Année 1}} \times 1.004$$



4 PER 1000

CARBON SEQUESTRATION IN SOILS FOR FOOD SECURITY AND THE CLIMATE

HOW CAN SOILS STORE MORE CARBON?

The more soil is covered, the richer it will be in organic material and therefore in carbon. Until now, the combat against global warming has largely focused on the protection and restoration of forests. In addition to forests, we must encourage more plant cover in all its forms.

					
<p>Never leave soil bare and work it less, for example by using no-till methods</p>	<p>Introduce more intermediate crops, more row intercropping and more grass strips</p>	<p>Add to the hedges at field boundaries and develop agroforestry</p>	<p>Optimize pasture management – with longer grazing periods, for example</p>	<p>Restore land in poor condition e.g. the world's arid and semi-arid regions</p>	<p>Improve water and fertilizers management and use organic fertilizers and compost</p>

Conservation Agriculture (AC) = regenerative agriculture

Low mechanical intensity

No tillage



Soils always covered

Multi-species cover crops
High biomass



High vegetal intensity

Diversified crops
Multi species



Stockage ou séquestration ?

50% du stock & 80 % de la variation sur 50 ans

- **Séquestration** : “Le transfert de CO₂ depuis l’atmosphère vers le sol [...], à travers les plantes, leurs résidus [...] qui sont stockés ou retenus à cet endroit comme partie de la matière organique (humus)” (Olson et al., 2014).
- Une durée minimale de 20 ans est souvent le critère retenu (IPCC, 2006)
- **Stockage**: pas de soustraction nette de CO₂ à l’atmosphère
 - Ex: concentrer les apports de fumier sur une parcelle

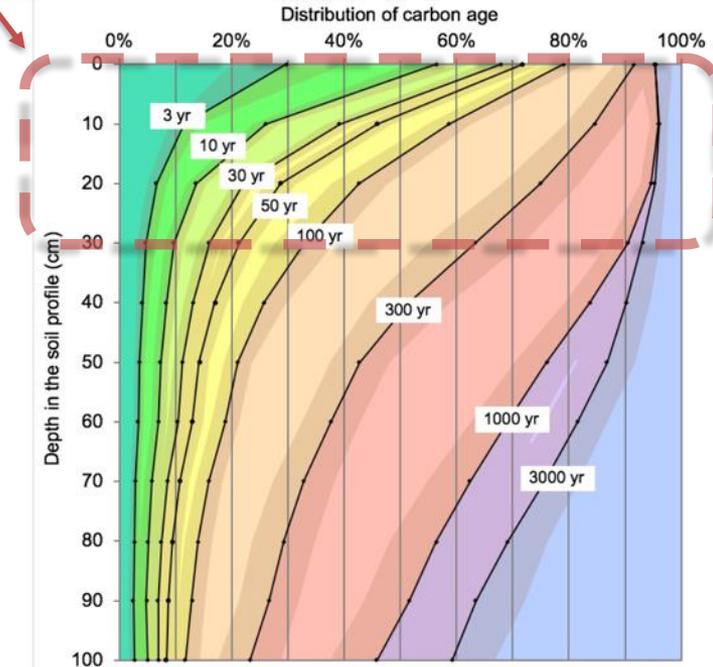
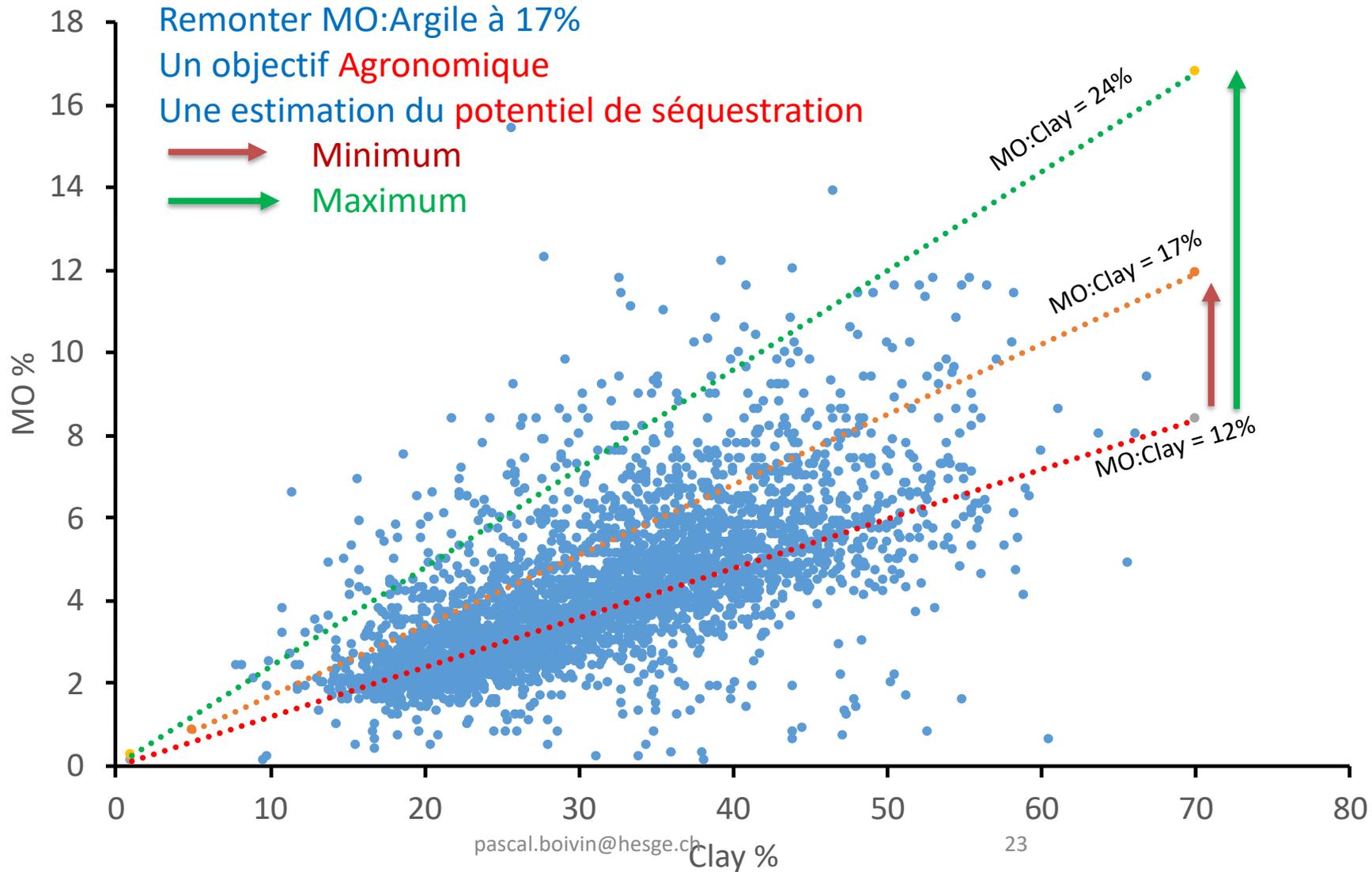


Fig. 2 | Meta-analysis of carbon age distribution over 55 tropical grassland and forest soil profiles. At each depth, the proportion of carbon aged less than time t (3 years, 10 years and so on) was fitted by a bi-exponential regression of t (Extended Data Table 3). Grey bands represent ± 1 standard error of the estimated mean. The median age of soil carbon increases from seven years at depth 0 cm to 1,250 years at 100 cm. Integration of the carbon content in each layer demonstrates that the carbon of age less than 50 years represents 45% of topsoil carbon (0–30 cm) and 13% of deep carbon (30–100 cm).

Tiré de Balesdent, J. et al. (2018). *Nature* 559, 599–602

Potentiel de sequestration

Ex: Cantons du Jura – Médiane = 12%

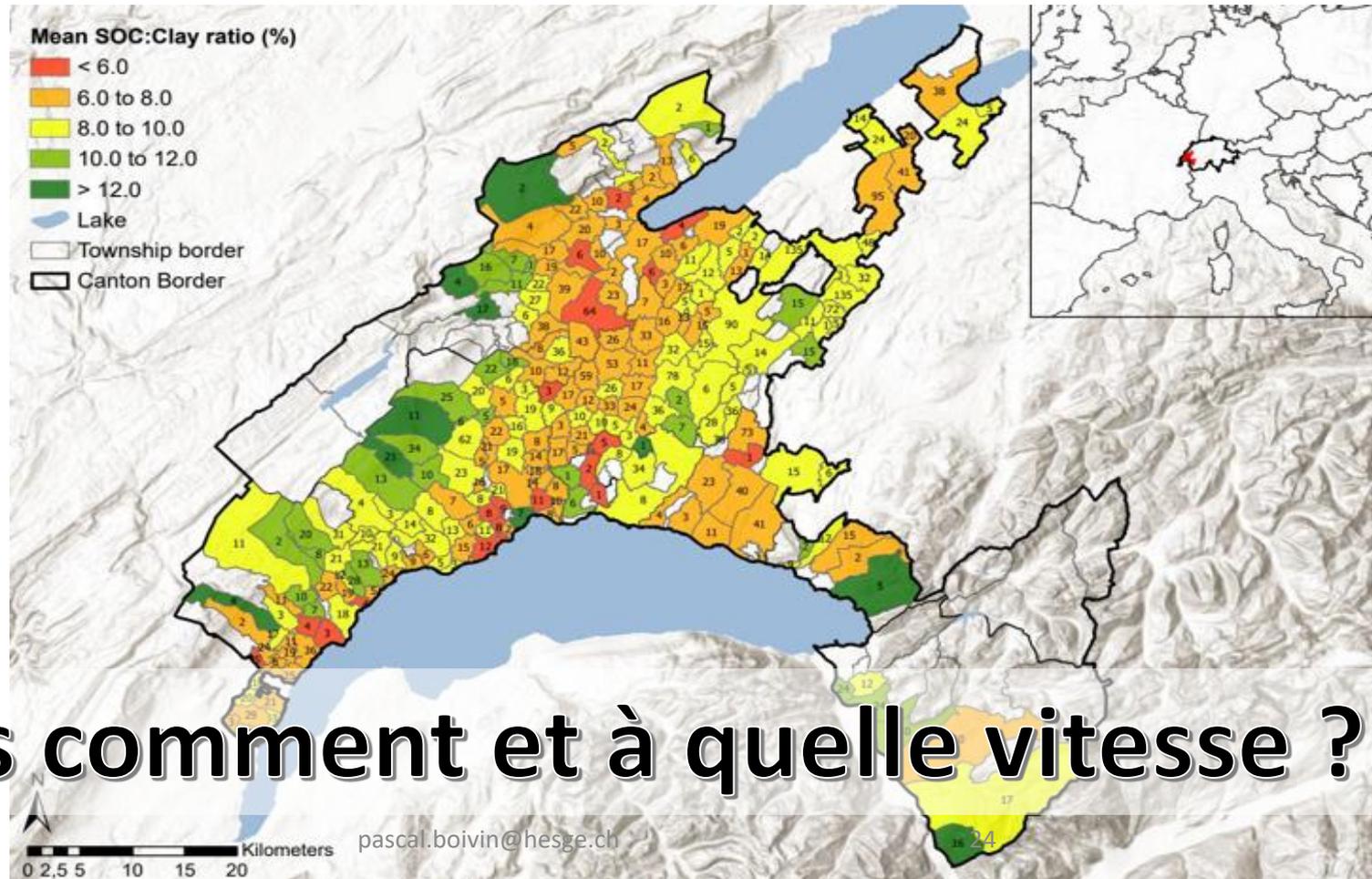


Evaluation du déficit ex. Vaud, grandes cultures



Potentiel **minimum** : 2 10⁶t CO₂ (seuil MO/Argile 17%)

Maximum: 6.6 10⁶t CO₂ (seuil MO/Argile 24%)

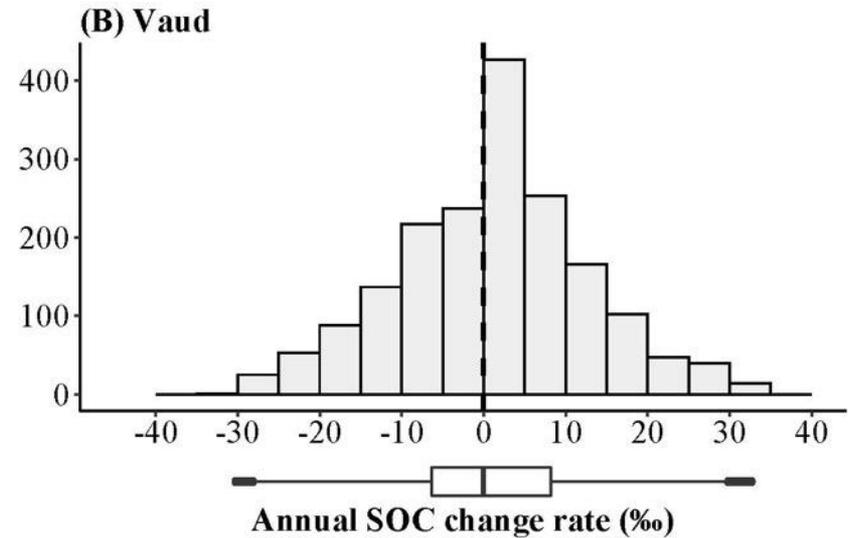
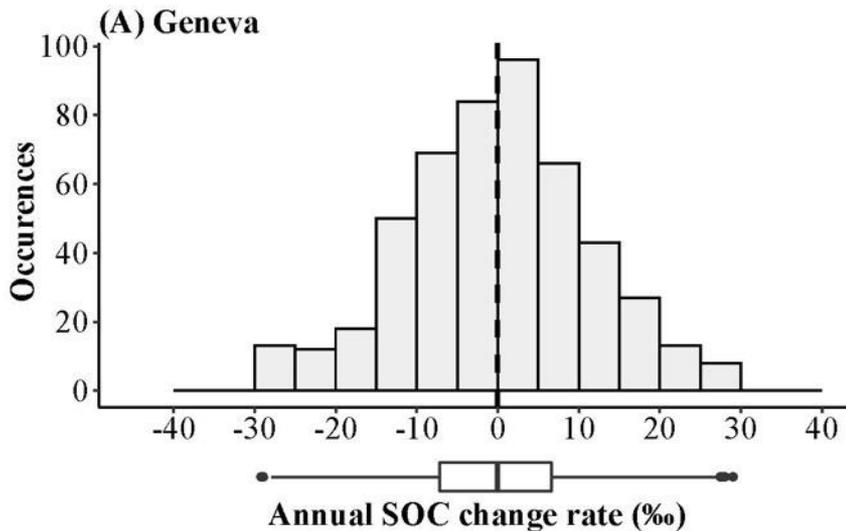


L'évolution des teneurs

Grandes cultures – Vaud et Genève – 0-20 cm



Des taux de -40 à +40 ‰ (1993-présent)



-40 ‰ = X 0.96 chaque année
+40 ‰ = X 1.04 chaque année

Tendance temporelle positive

A partir de 2006 le taux d'évolution annuel moyen devient positif

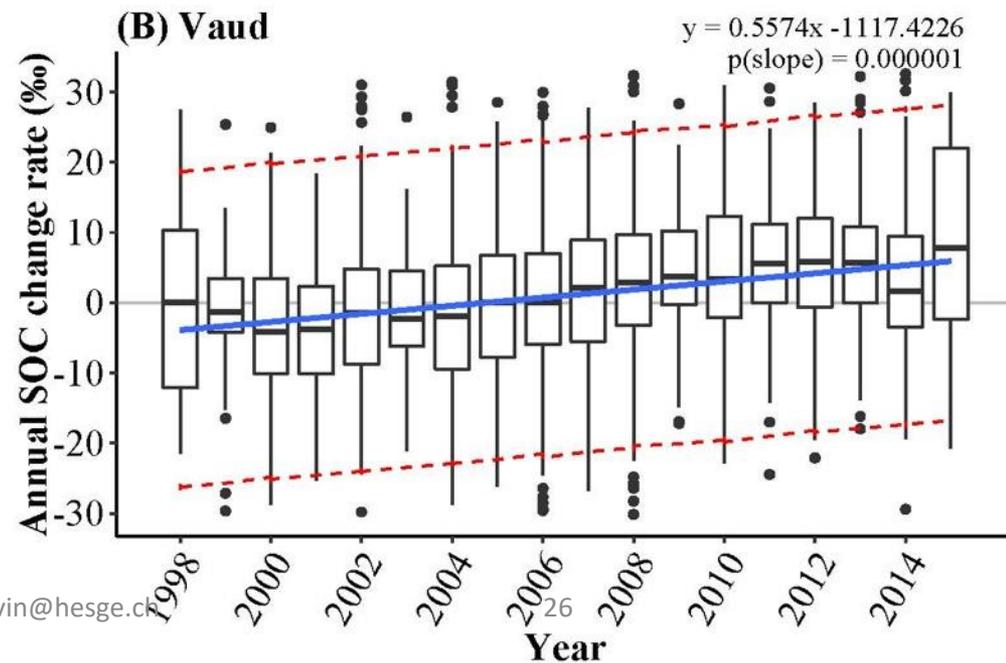
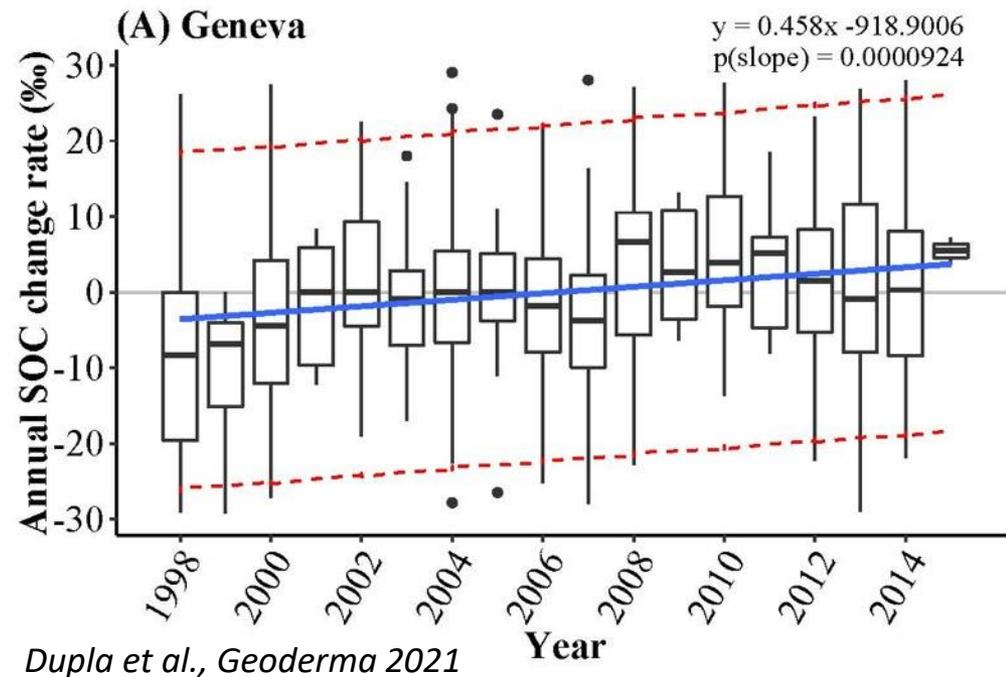
-5‰ en 1998

4‰ en 2012

6‰ en 2015

... 10‰ en 2020?

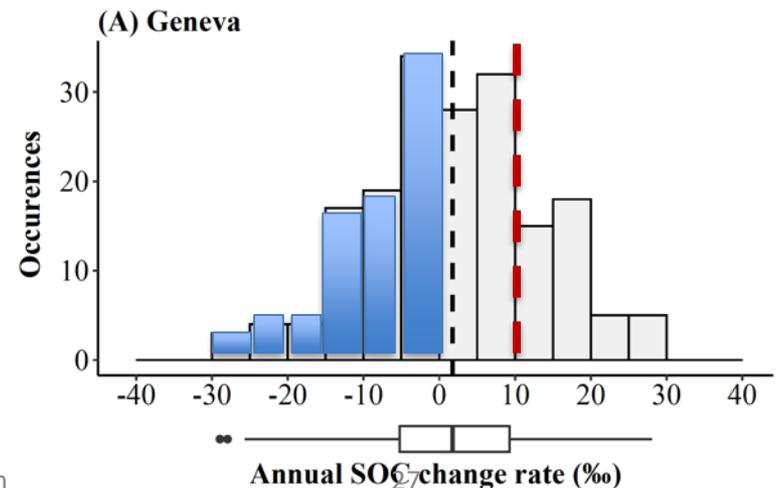
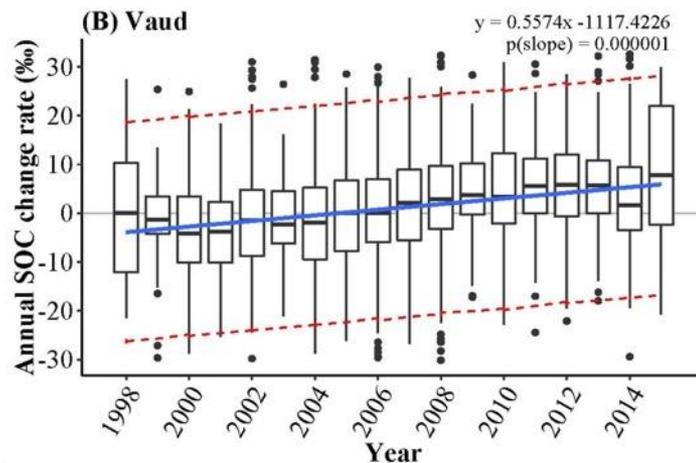
Annual SOC change rates of the 0-20 cm topsoil of cropland fields over the 1993-2020 period for (A) Geneva (496 fields) and (B) Vaud (1'793 fields) cantons as a function of the average year between two analyses. Solid line: linear regression. Dashed line : 95% local regression prediction interval.





Bilan (région lémanique)

- La correction de perte de MO a déjà eu lieu
- Le +4% a été dépassé en 2012
- L'objectif +10% est raisonnable, il est peut-être déjà atteint en moyenne
- Il y a un fort potentiel de croissance

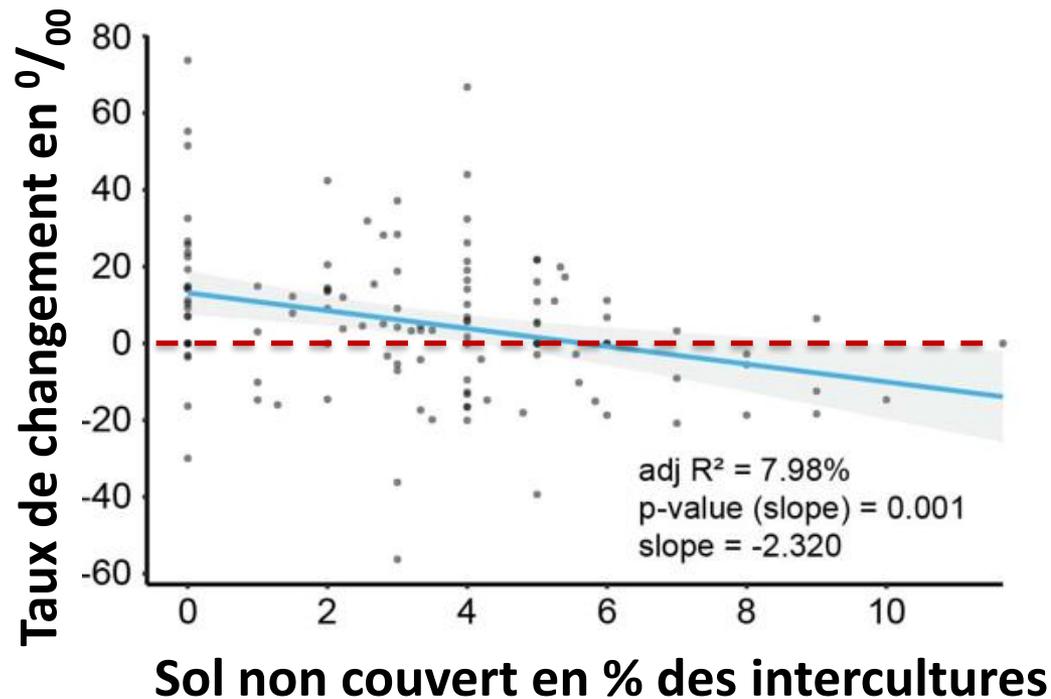


Les leviers agricoles

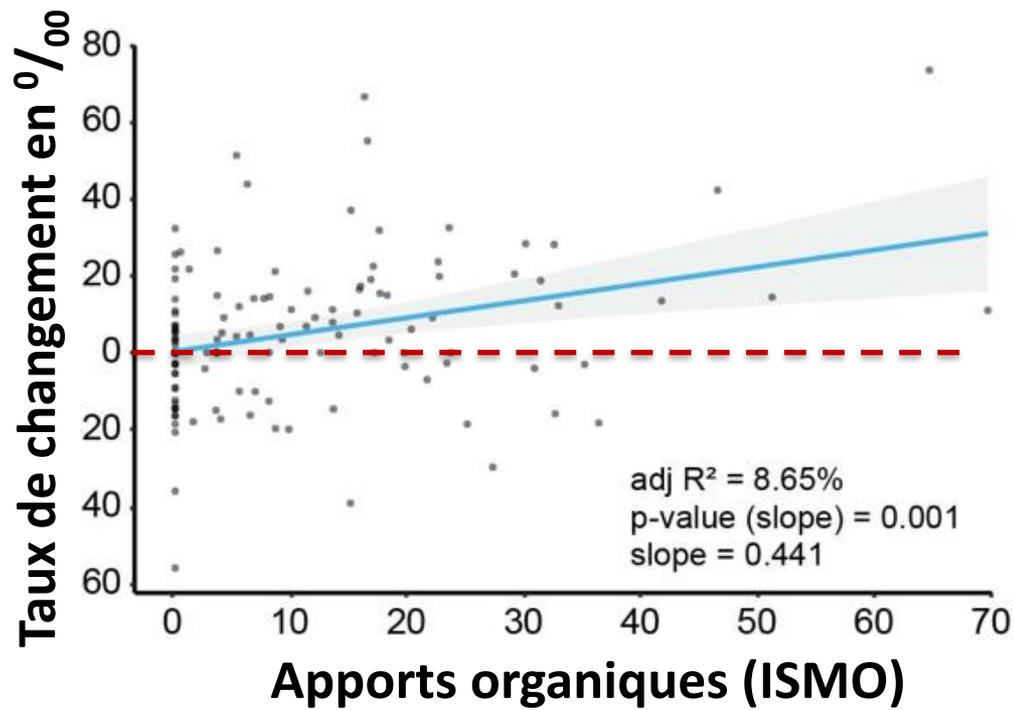
- Couverts végétaux +++
- Bilan organique ++
- Travail du sol --



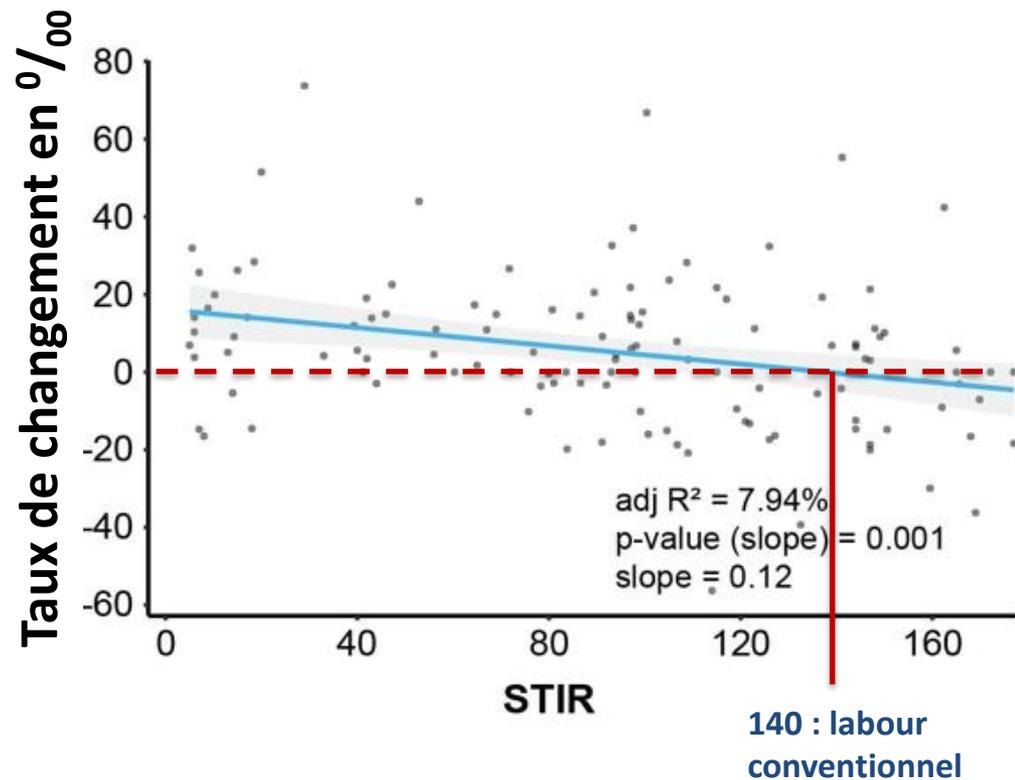
Les leviers carbone #1 les couverts végétaux



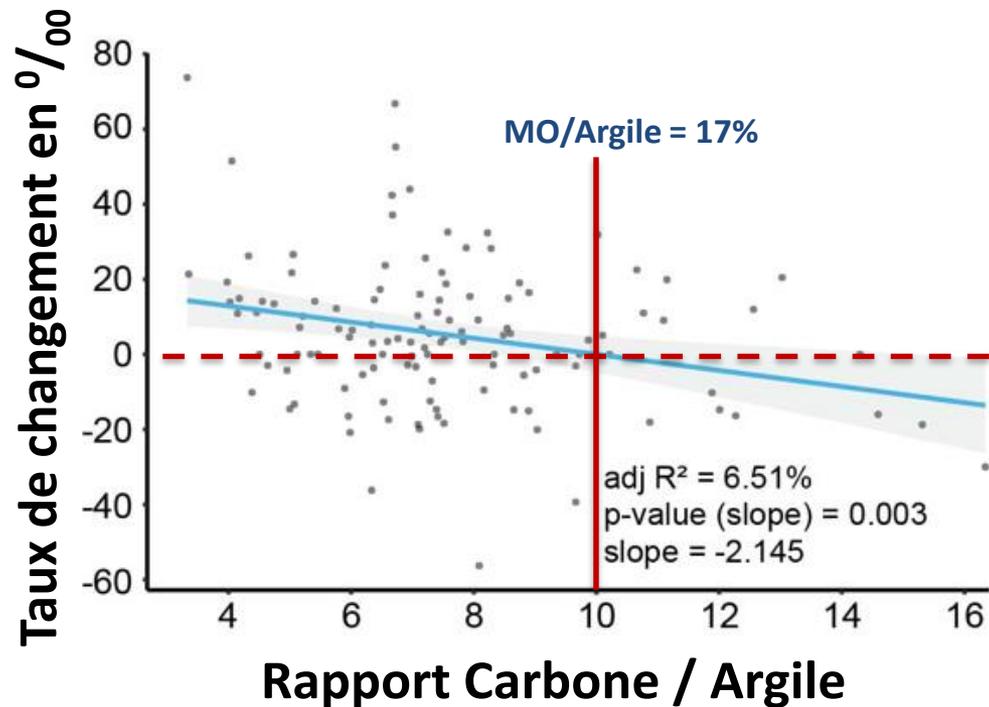
#2 - Apports organiques



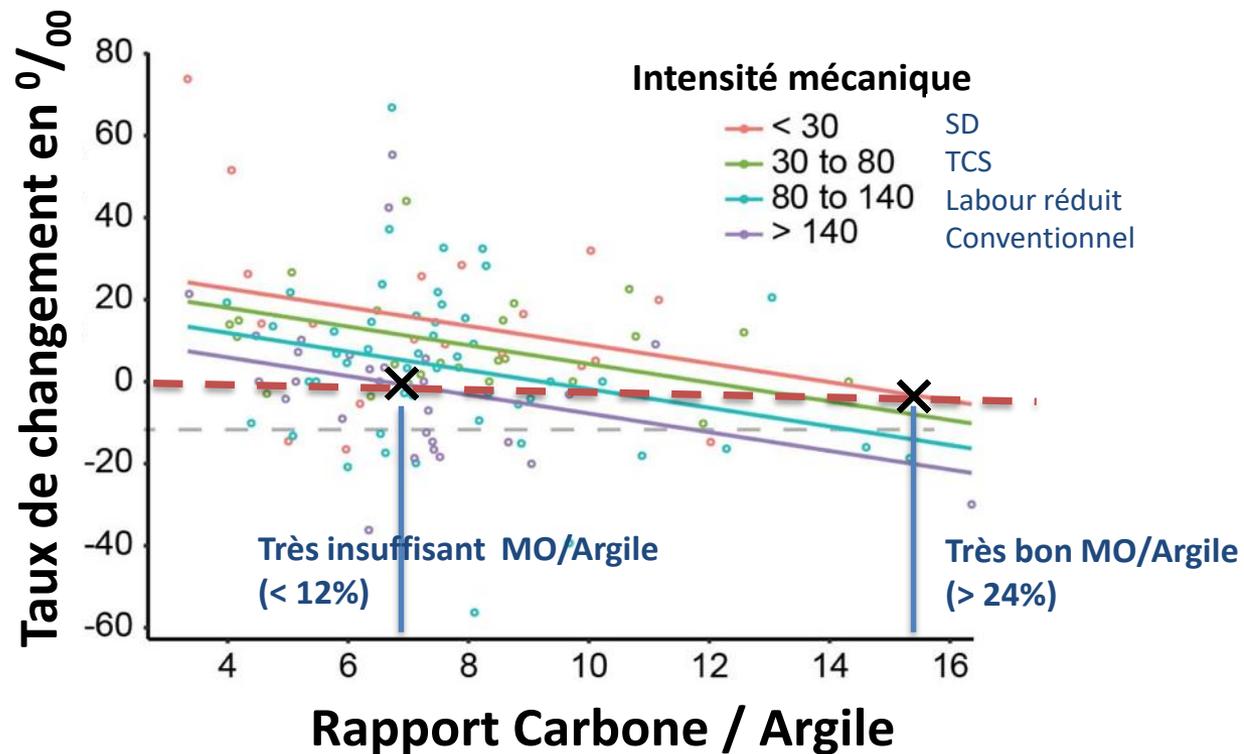
#3 - Intensité mécanique



#4 - Stock de carbone



Les effets sont additifs

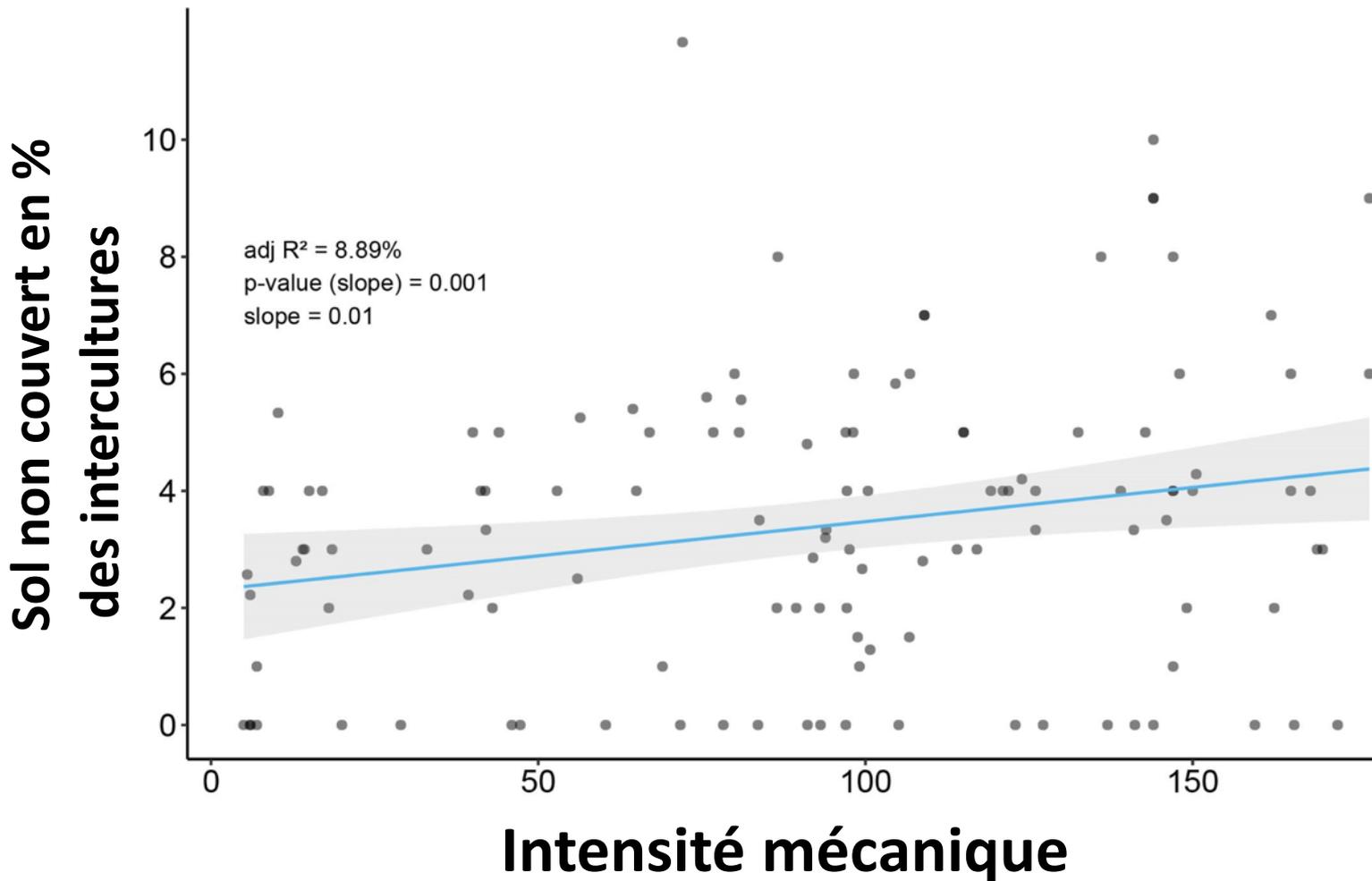


Effets additifs =...

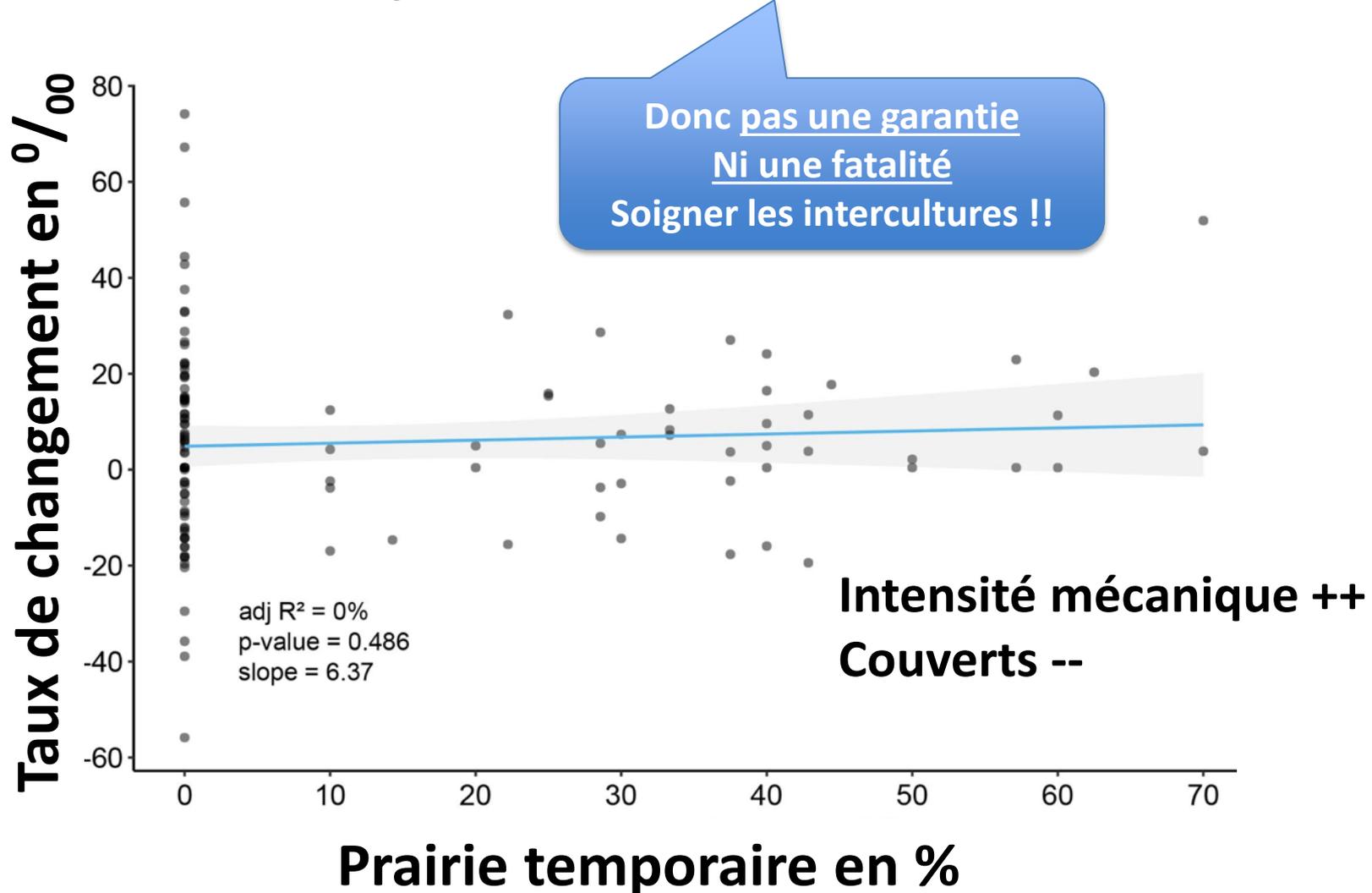


- Possibilité de jouer différemment sur les différents leviers
- Il n'est pas nécessaire de changer tout le système d'un seul coup (réduction progressive de la mécanisation)
- Attention ! Si on a beaucoup de MO (MO/Argile élevé) on est en risque de la perdre
- Maximiser les couverts végétaux engrais verts = priorité
 - Mais ce n'est pas possible partout – Couverts associés, permanents...
 - Attention à l'interaction négative avec le travail du sol

Travail du sol et couverts



Prairies temporaires « neutres »



Et les pérennes ?



- Tout est à faire mais le mouvement est amorcé et les idées reçues appelées à évoluer



L'agroécologie est une méthode de production qui s'appuie essentiellement sur la compréhension et l'utilisation des relations que nous offre la nature. Le groupe Pom'Evasion, convaincu par les bienfaits de cette méthode, a choisi de suivre cette voie.

GROUPE
POM
EVASION

DÉCOUVREZ
TOUS LES BIENFAITS
DE L'AGROÉCOLOGIE

11
Producteurs

15
Sociétés de production

1000
Ha de surfaces cultivées

60000
Tonnages produits

26
Variétés de pommes

4
Variétés de poires

Séquestration ou stockage ?



- Carbone généré sur l'exploitation = séquestration
 - Couverts et résidus
 - Bois Raméal Fragmenté (BRF)
 - Retour des engrais de ferme
- Echelle = exploitation
- Autres provenances
 - ?? Stockage ...
 - Ex Biochars, compost



Merci pour votre attention

