

Avancées des travaux sur le ratio MO/Argile et ses applications

Pascal Boivin & Ophélie Sauzet

University of Applied Sciences and Arts of Western Switzerland

Agronomy Faculty - Geneva

h e p i a

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

Hes·SO  GENÈVE

Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

Combien faut-il de MO dans les sols cultivés ?

La gestion de la MO est largement passée « sous les radars » de la recherche en Agronomie au cours du 19^{ème} siècle.

- On ne trouve pratiquement pas de recommandations concrètes en Europe (so far)
 - Quelques exceptions mais basées sur des concepts de fertilisation (e.g. minéralisation de l'azote - Suisse)
 - Quelques données basées sur la stabilité des agrégats (travaux INRA Laon – JC Rémy, Feller & Beare, 1997...) mais délaissés depuis.

La question de la MO est redevenue populaire en fin de 20^{ème} siècle : le dossier climatique

La question s'est enflammée : initiative 4/1000

- Elle prend de l'ampleur:
 - les services écosystémiques et les sols comme clé de voute (Hooper et al., 2005)
 - les Sustainable Development Goals et leur dépendance aux sols
 - Rapport Climate change and Land IPCC 2019 etc.

Combien faut-il de MO dans les sols cultivés ?

- Qualité des sols : aptitude des sols à fonctionner
- Qualité du sol, un indicateur central:
la teneur en matière organique (MO)
- En particulier pour l'Agronomie

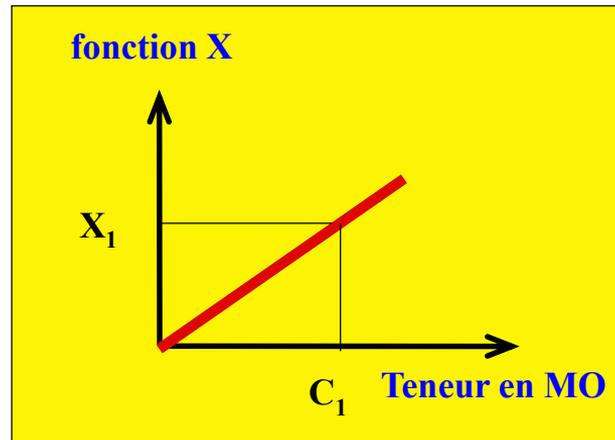
(King et al., 2020)

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

Fertilité
physique

Fonctions dans l'écosystème
Fonctions dans les sols

D'après Feller, 2006



Combien faut-il de MO dans les sols cultivés ?

- La fertilité physique des sols: grande oubliée du 20^{ème} siècle
 - Point de rupture actuel pour beaucoup d'exploitations européennes
 - Dangers naturels, services écosystémiques mis à mal
- Qualité physique du sol : La structure et les porosités
 - Structure: ne doit pas être **vulnérable**
 - Vulnérabilité: forte **résistance** et forte **résilience**
 - Systèmes poraux : aération fine, drainage rapide, RFU, stabilité et connectivité
 - La porosité **structurale**
- Indicateurs : de gros progrès
 - Tests visuels (VESS, CoreVESS)
 - Mesures physiques (distinction plasma / porosité structurale)



Combien faut-il de MO dans les sols cultivés ?

- Etablissement de valeurs de référence à partir de la notion de vulnérabilité et des caractéristiques de la porosité structurale *(Johannes et al., 2017 et suivants)*
- Résultats sur échantillons « on-farm », collectés à n'importe quel moment de l'année et n'importe quel stade de la rotation (> 300 profils plateau Suisse)
 - Processus de résistance et résilience randomisés et moyennés → **Structure Vulnerability Index (SVI)** *(Fell et al., 2020, Dupla et al., 2021)*
- Résultats obtenus au champ → applicables au champ + lien avec les pratiques culturales

Combien faut-il de MO dans les sols cultivés ?

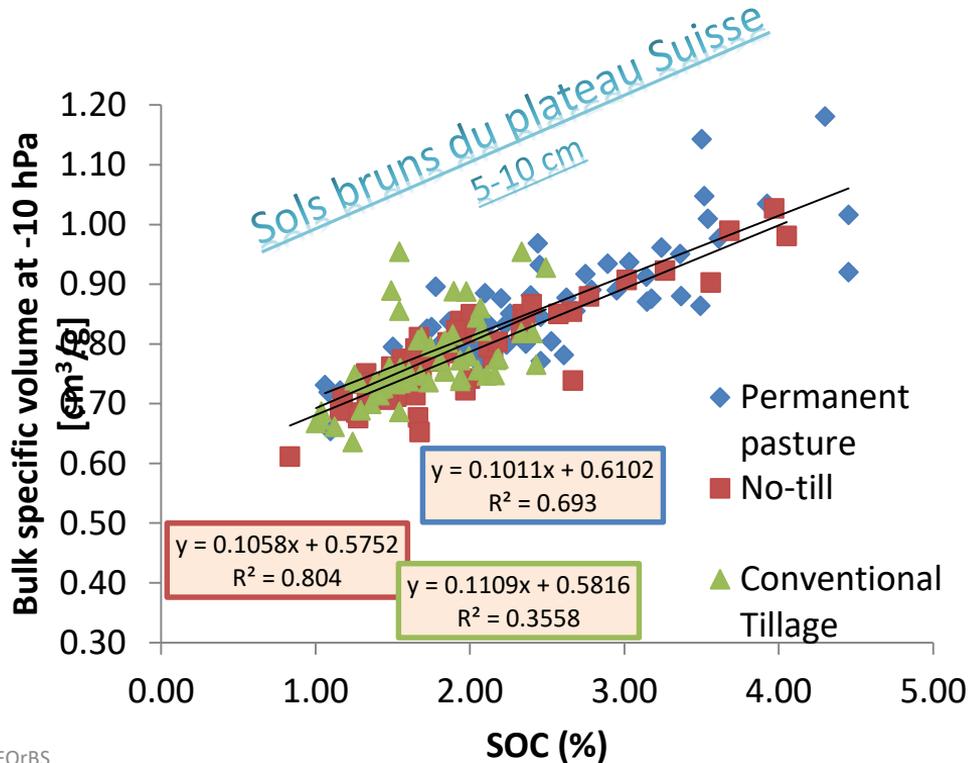
Table 1
Critical values to verify a damaging subsoil compaction concerning crop production

Method	Dimension	Description	Test value	Action value	Remarks
A. Parameters with low indication					
Penetration resistance	MPa	Soil volume/field	>2	Not suitable	Field capacity
Shear resistance	kPa	Soil volume/field	>60	Not suitable	Field capacity
Effective Bulk density (Bd_{eff})	$g\ cm^{-3}$	Soil volume/laboratory	>1.7	Not suitable	$Bd_{eff} = Bd + 0.009 \times clay$
Precompression stress	kPa	Soil volume/laboratory	>70 (clay) >90 (loam) >130 (sand)	Not suitable	Field capacity
B. Parameters with high indication					
Air capacity	vol. %	Pore volume/laboratory	<8 <12	<5 <8	Hydromorphic soils
Saturated hydraulic conductivity	$cm\ d^{-1}$	Pore continuity/laboratory	<20 >2	<10 >3	Anisotropy
Air conductivity	$\times 10^{-4}\ cm/s$	Pore continuity/laboratory	<12 >2	<5.5 >3	Anisotropy
Infiltration rate	$mm\ d^{-1}$	Pore continuity/field	<5	<3	
C. Further parameters with high indication (only in combination with B)					
Oxygen diffusion rate	$\mu g\ O_2 \times s^{-1}\ cm^{-2}$	Pore continuity/laboratory	<70	<35	Field capacity
Oxygen diffusion coefficient	–	Pore continuity/laboratory	<0.02	<0.01	Field capacity
Soil redox potential defined as redox resistance	mV	Pore continuity/laboratory	>300 for 5 days	<300 for 3 days	
Unsaturated hydraulic conductivity	$cm\ d^{-1}$	Pore continuity/laboratory	<0.3	<0.1	Field capacity

Blume (1968), Buchter et al. (2004), DVWK (1997), Flühler (1973), Glinski and Stepniewski (1985), Horn and Fleige (2003), Lebert et al. (2006), Stepniewski and Stepniewska (2008), UBA (2004) and Werner and Paul (1999).

Qualité de la Structure	Apparence générale	Taille	Racines	Porosité Visible*	Apparence après extraction : même sol mais travail du sol différent	Traits distinctifs	Apparence des agrégats* ou fragments* de ≈ 1.5 cm de diamètre			
Sq1 Friable Agrégats* se désagrègent très facilement avec les doigts	Pas de motte fermée*	La plupart des agrégats* < à 0.6 cm.	Les racines colonisent l'ensemble du bloc : les racines sont bien présentes à l'intérieur et autour des agrégats*	La plupart des agrégats* sont TRES poreux			 Agrégats* très fins et poreux	 Agrégats* très poreux, composés de plus petits maintenus ensemble par les racines. Ils sont pour la plupart directement obtenus lors de l'extraction du bloc.	1 2 3 4 5	
Sq2 Intact Agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts		Mélange d'agrégats* arrondis de 2mm à 7cm		La plupart des agrégats* sont poreux.			 Forte porosité des agrégats*		Agrégats* arrondis, fragiles, poreux qui se cassent facilement.	6 7
Sq3 Ferme La plupart des agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts	Présence possible de mottes fermées*	Mélange d'agrégats* de 2 mm-10 cm. Moins de 30% <1cm.		Présence possible de pores grossiers visibles* et de fentes de retrait*			 Faible porosité des agrégats*		Agrégats* avec peu de pores visibles et plutôt arrondis.	8 9 10
Sq4 Compact Assez difficile de briser les mottes fermées* avec une seule main	Principalement mottes fermées* sub-angulaires	moins de 30% des mottes sont de taille <7cm ; structure lamellaire possible.		Pas ou peu de racines à l'intérieur des fragments*. Les racines présentes sont concentrées autour des mottes fermées, dans les « pores grossiers visibles »* et les fissures*	Peu de « pores grossiers visibles »* et peu de fissures*			 Racines dans les pores grossiers visibles*	Ces fragments* de forme cubique à bords anguleux et fissures internes sont faciles à obtenir sur sol humide.	11 12 13 14
Sq5 Très Compact Très difficile de briser les mottes fermées* avec la main	Principalement mottes fermées* angulaires	mottes angulaires >10cm, très peu de taille <7cm.		Très peu de « pores visibles grossiers »* et de fissures*. Anoxie* possible.	Très peu de « pores visibles grossiers »* et de fissures*. Anoxie* possible.			 Couleur gris-bleu possible	Ces fragments* à bords anguleux peuvent être difficiles à obtenir même sur sol humide.	15 16

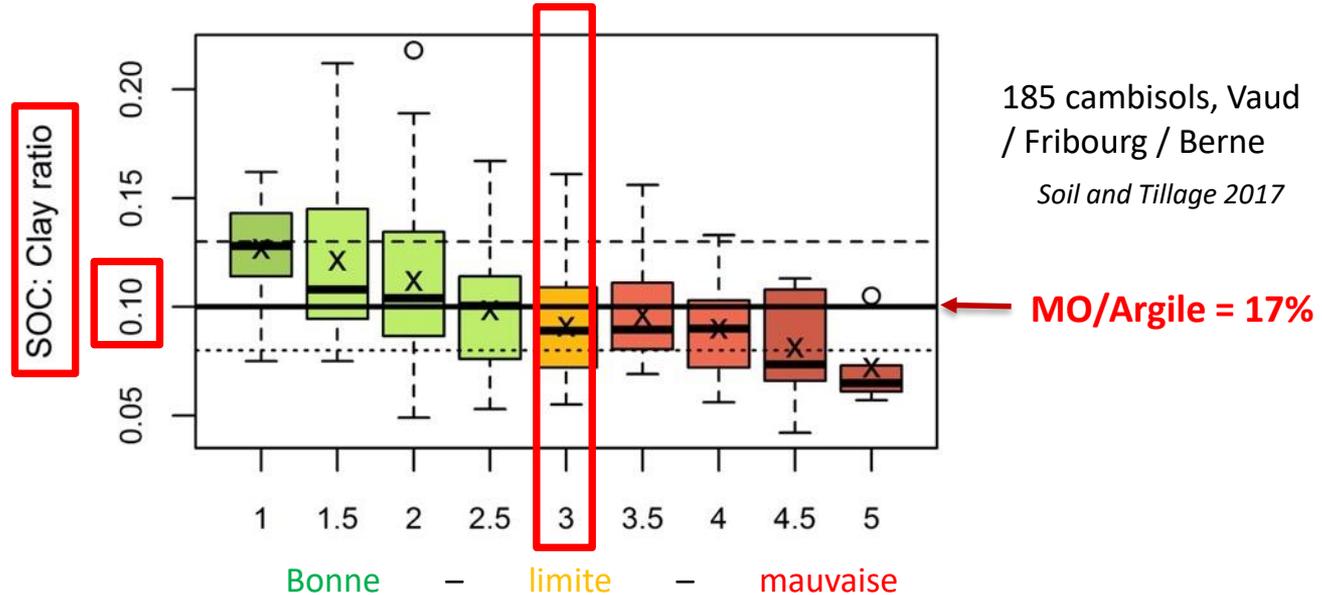
Définition des seuils MO/Argile



*Plus il y a de MO
mieux c'est*

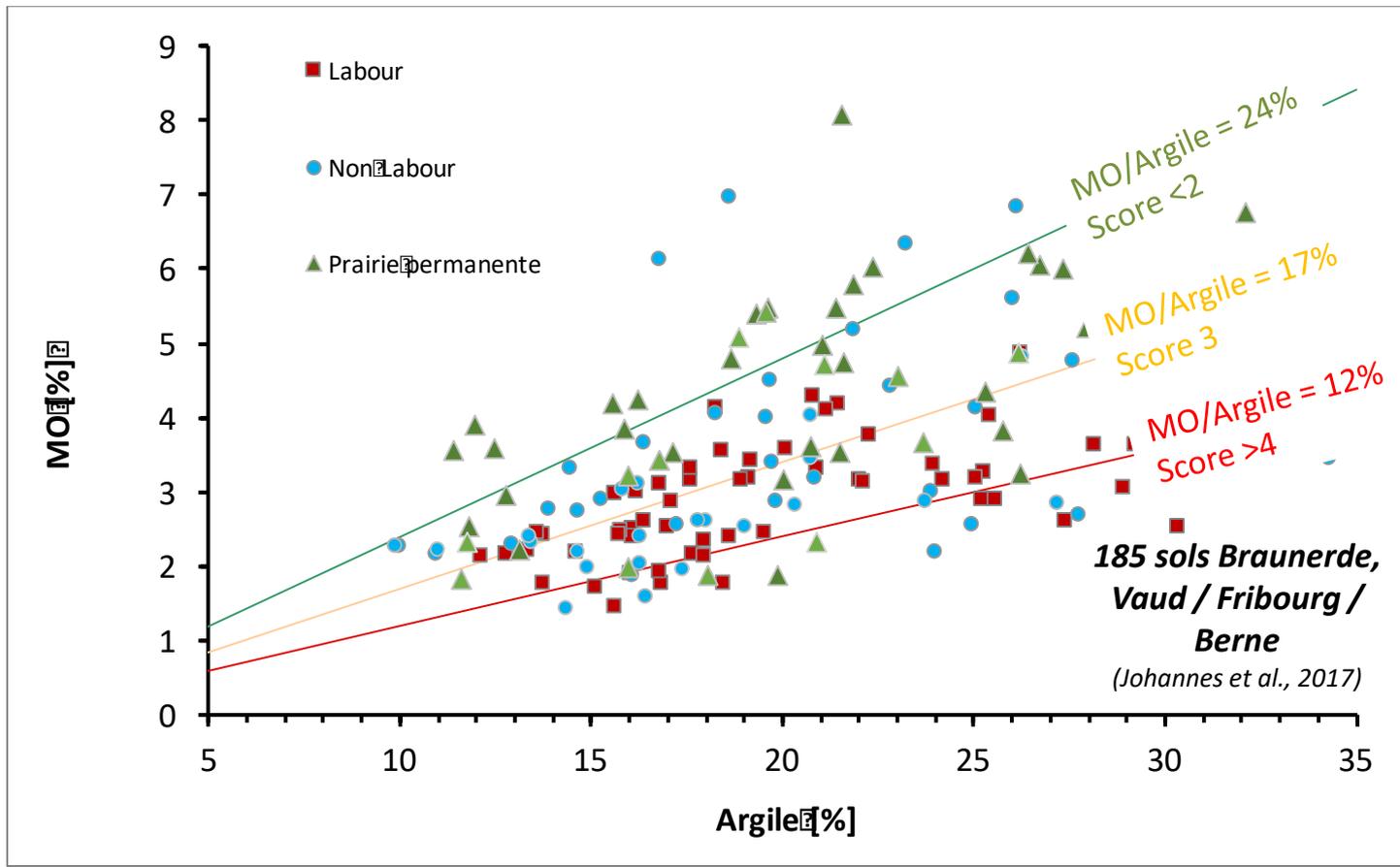
(Johannes A., 2016)

Définition des seuils MO/Argile



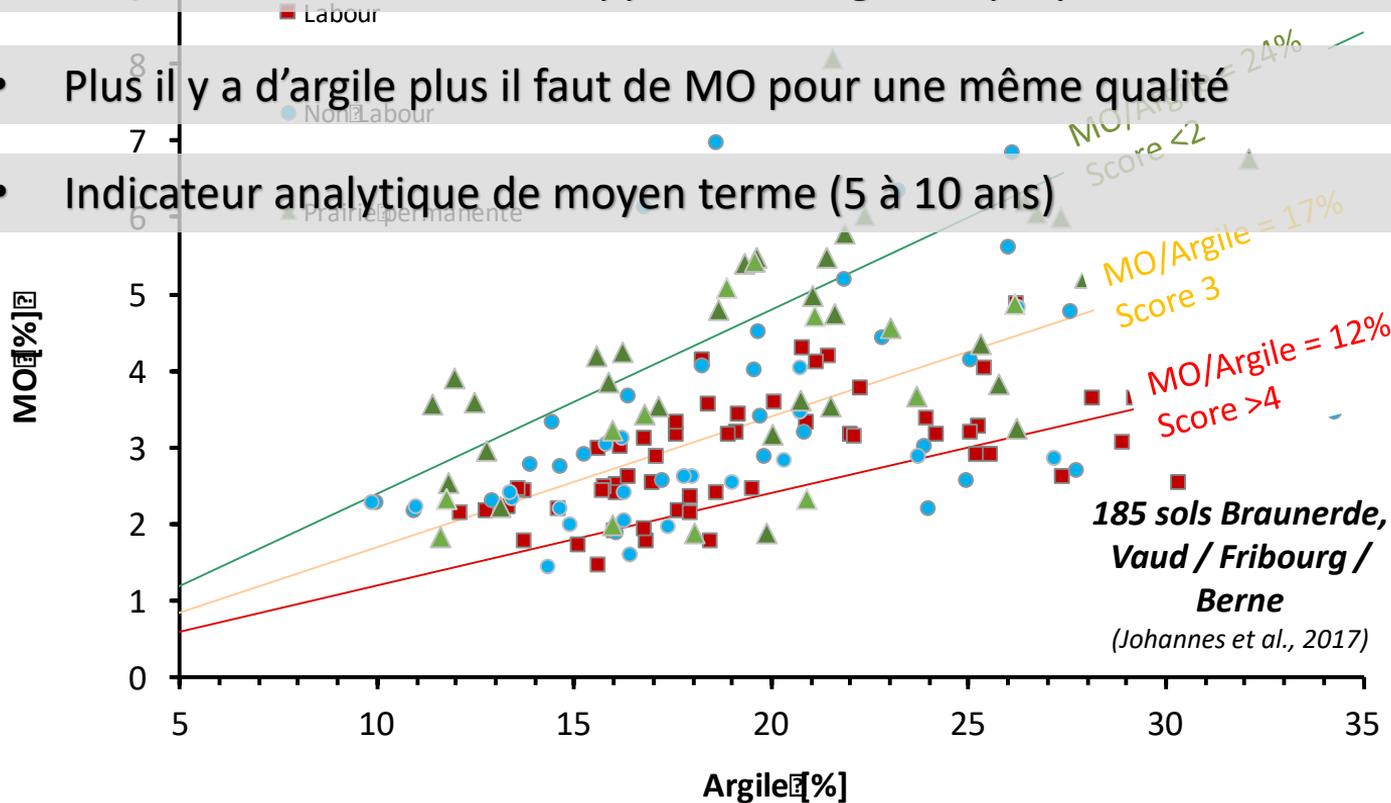
Voir aussi :
Dexter et al., 2008 et travaux associés
Concepts de saturation des argiles (Six et al. 2006 etc.)

Définition des seuils MO/Argile

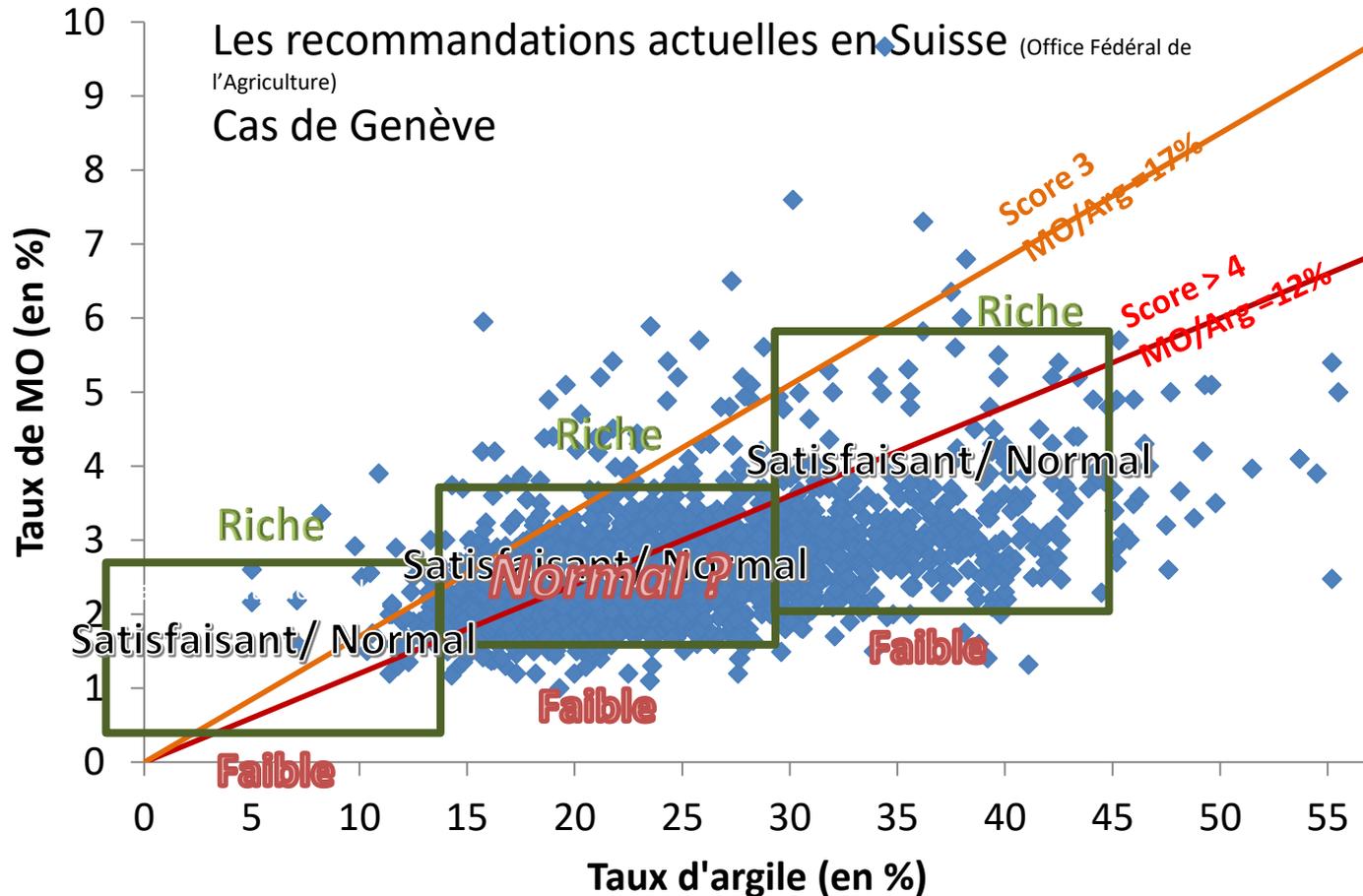


Définition des seuils MO/Argile

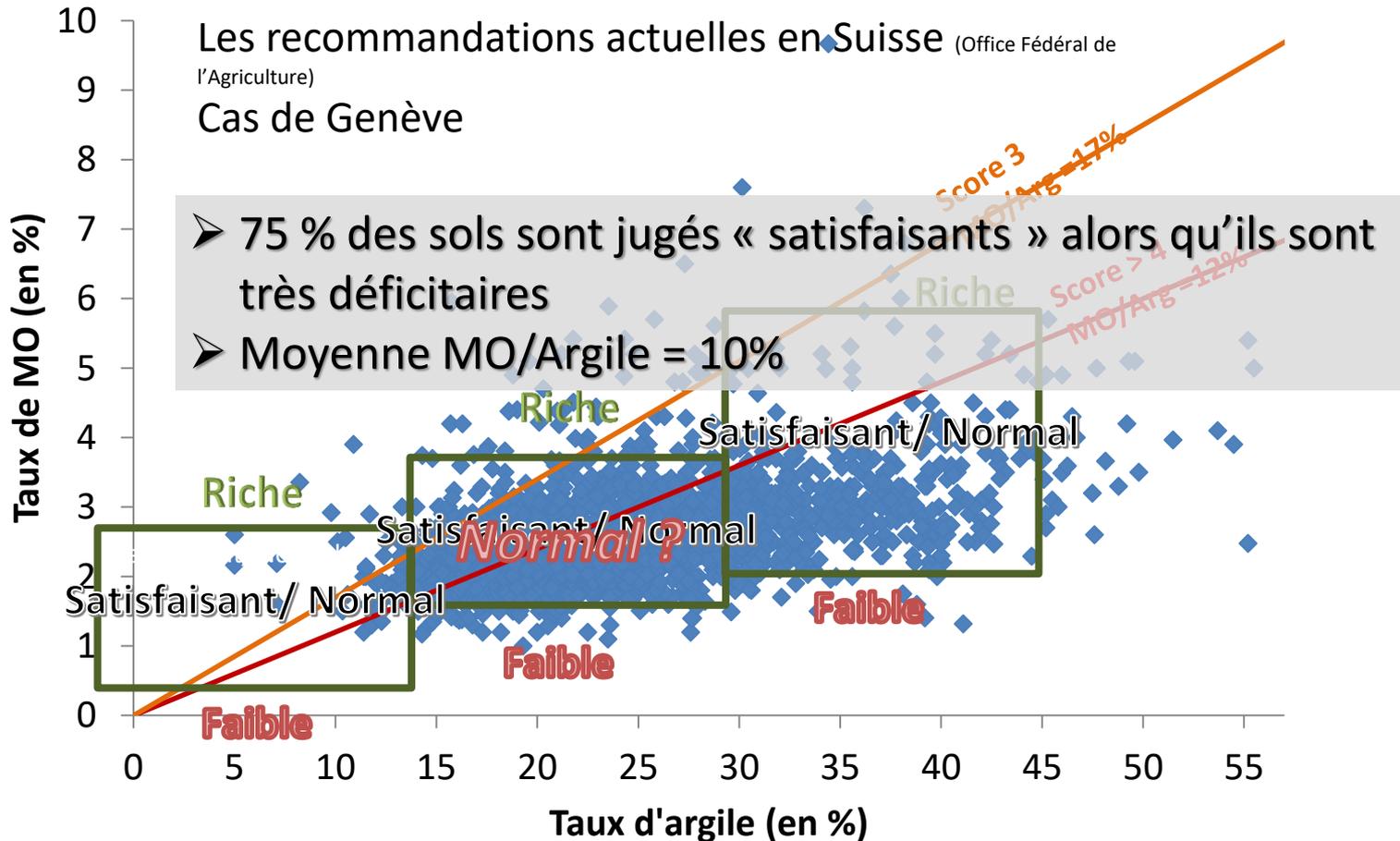
- Qualité de la structure et rapport MO:Argile → proportionnels
- Plus il y a d'argile plus il faut de MO pour une même qualité
- Indicateur analytique de moyen terme (5 à 10 ans)



Définition des seuils MO/Argile



Définition des seuils MO/Argile



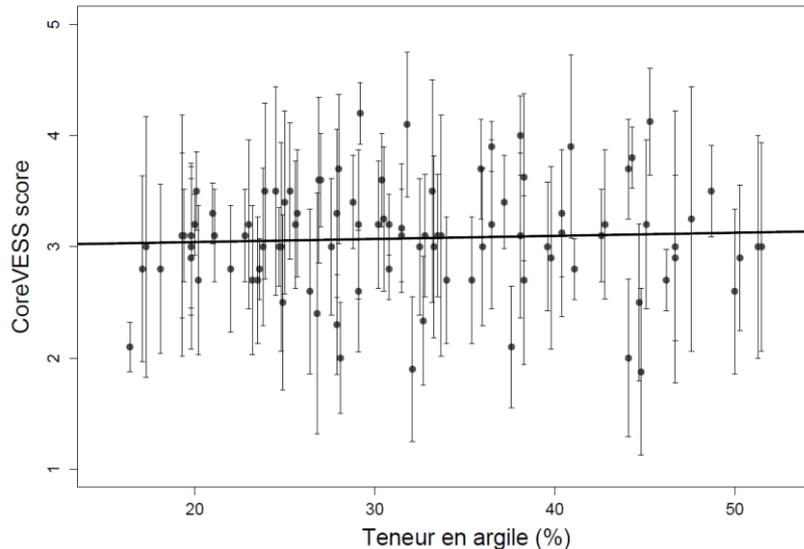
Universalité des seuils MO/Argile ?

- A partir des données de l'échantillonnage initial (1978-83) de l'inventaire national des sols d'Angleterre et du Pays de Galles, couvrant 3 809 sites de terres arables, de prairies et de forêts (Prout et al., 2021) => seuils de Johannes et al. (2017) applicables
- Résultats confirmés en Wallonie (unpublished)
- Plus largement, utilité de l'indicateur à questionner dans les cas suivants :
 - sols sableux, tourbeux et calcaires => investigations en cours et/ou à faire
 - ailleurs dans le monde : cas des Andosols, Vertisols et des Chernozems.

Universalité des seuils MO/Argile ?

Influence des hautes teneurs en argile sur la qualité et la vulnérabilité de la structure Johannes, Sauzet et al, 2023

- Pas d'influence de la teneur en argile sur la qualité de la structure du sol.



Universalité des seuils MO/Argile ?

Influence des hautes teneurs en argile sur la qualité et la vulnérabilité de la structure Johannes, Sauzet et al, 2023

- Rapport MO:argile de 17% utile aussi dans les sols argileux.
- Pas plus difficile d'atteindre des teneurs élevées en MO dans les sols argileux.
- Propriétés physiques mieux expliquées par la teneur en MO que par l'argile.
- En augmentant la teneur en MO, les agriculteurs améliorent les propriétés physiques de leurs sols et ils ne sont pas limités par les sols à forte teneur en argile.

Universalité des seuils MO/Argile ?

Influence des hautes teneurs en argile sur la qualité et la vulnérabilité de la structure Johannes, Sauzet et al, 2023

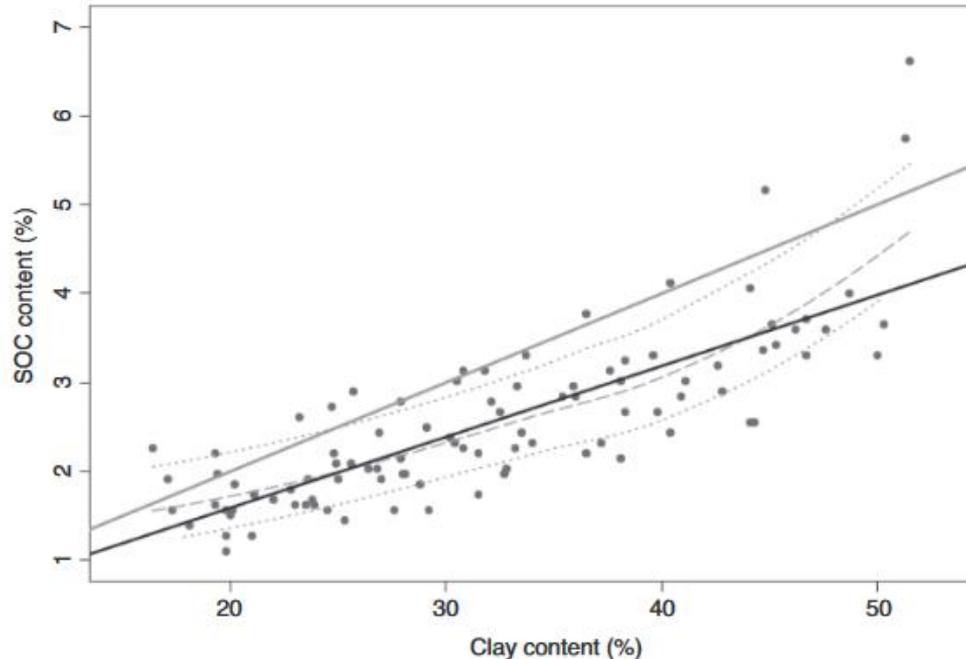


FIGURE 1 Linear model and 'lowess' nonparametric local regressions between soil organic carbon (SOC) and clay content; black solid line: linear regression line; light grey dashed line: lowess smooth curve (polynomial degree 2); light grey dotted lines: 95% confidence interval; grey solid line: 1:10 SOC:clay ratio; the parameters of the regression equations are given in [Table 3](#).

Soil Vulnerability Index

- Vulnérabilité = capacité de la structure du sol à faire face à un stress (*Kay et al., 1994*)
- Résultats sur échantillons « on-farm », collectés à n'importe quel moment de l'année et n'importe quel stade de la rotation (> 300 profils plateau Suisse de Johannes et al. (2017))
- Processus de résistance et résilience randomisés et moyennés
⇒ Structure Vulnerability Index (SVI)
(*Fell et al., 2020, Dupla et al., 2021, Johannes, Sauzet et al., 2023*)

Quelques exemples d'application

- Carbone/Argile = 10% OU MO/Argile = 17%
 - Une exigence **minimale** pour une qualité des sols durables
 - Un objectif de séquestration **réaliste et nécessaire** du point de vue agronomique
- SVI (MO/Argile) = 24%
 - L'optimum pour résistance et résilience maximales
 - Atteignable et atteint dans tous les systèmes de culture suisses

Objectifs déjà incorporés dans le **memento agricole suisse**

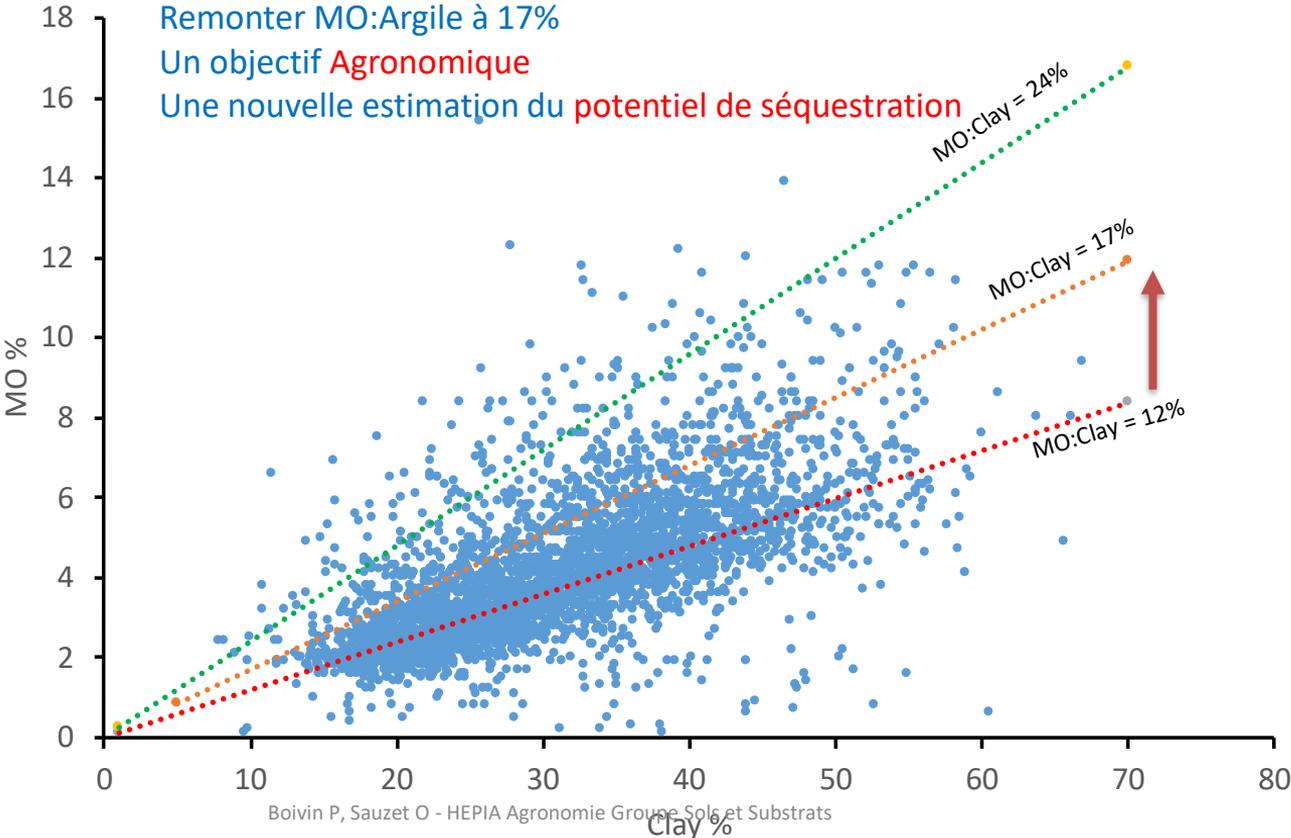
Mais sur le terrain, la vaste majorité en est très loin.

Exemples...



Canton du Jura – Médiane = 12% (Grandes cultures)

Herbages + élevage



Johannes,
Sauzet et al,
2023

Quelques exemples d'application

- Des points de repères et des objectifs
- Ne pas descendre sous les 12 %
 - Forte probabilité de structure dégradée
- Atteindre les 17%
 - Possible quel que soit le mode de mise en valeur
 - Une assurance qualité / fertilité minimale
- Viser les 24 %
 - C'est possible, en tout cas en semis direct
 - Qualité maximale

Quelques exemples d'application

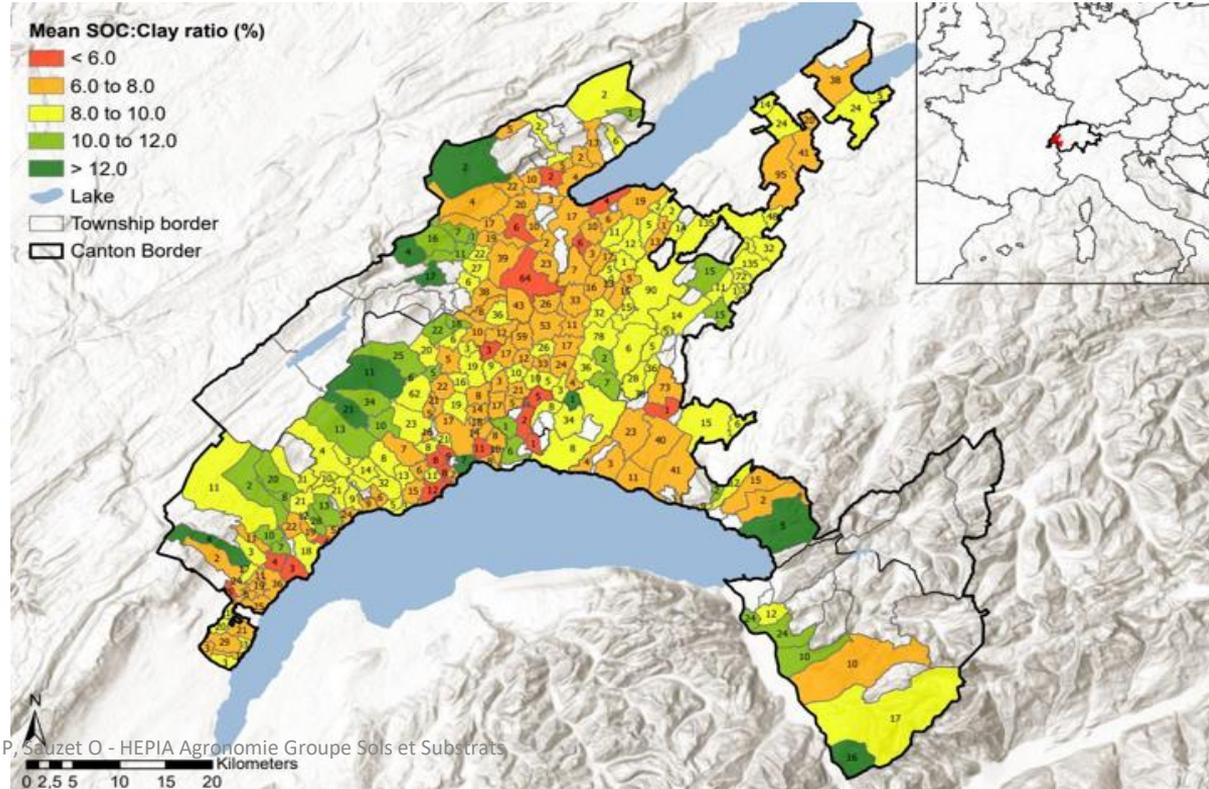
- **Ratio MO/argile > 17%** = une condition nécessaire pour un sol de bonne qualité
 - Meilleure résistance de la structure sous la contrainte
 - Régénération plus rapide
- Une condition nécessaire mais pas suffisante
 - Quelle que soit la teneur en MO on peut compacter !
 - **Importance de faire le test bêche**



Quelques exemples d'application

Cartographie du déficit

Ex. Canton de Vaud



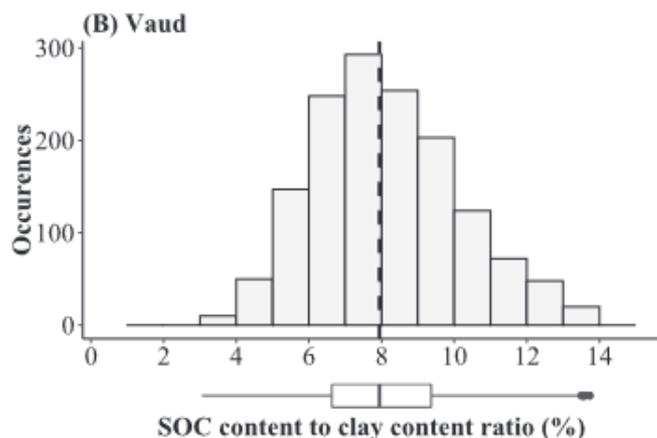
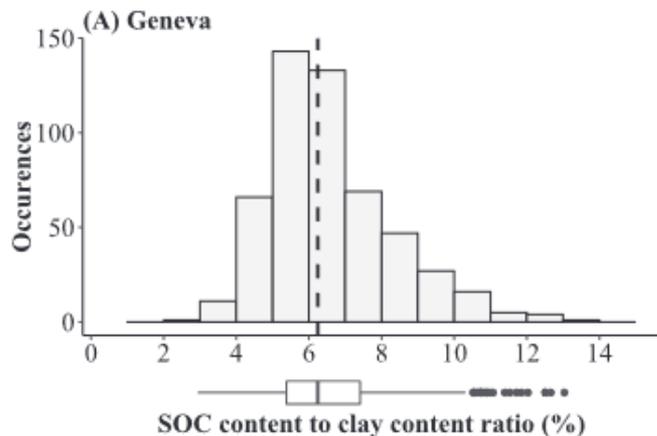


Fig. 4. SOC to clay ratio (SVI) in the 0–20 cm topsoil of cropland fields from Swiss cantons of (A) Geneva (523 fields) and (B) Vaud fields (1469 fields). Dashed vertical line: median value.

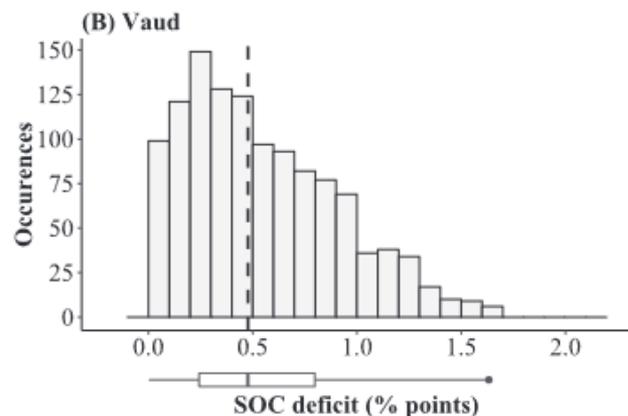
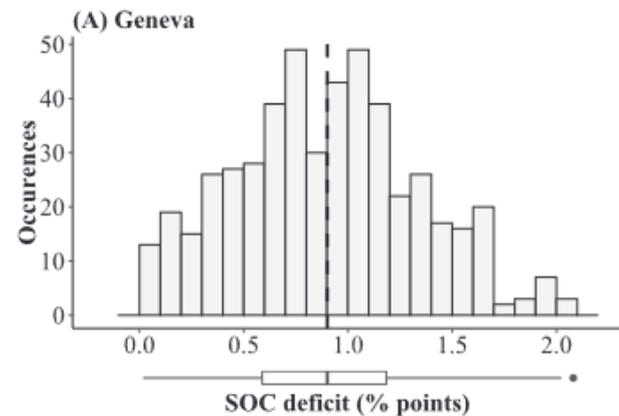


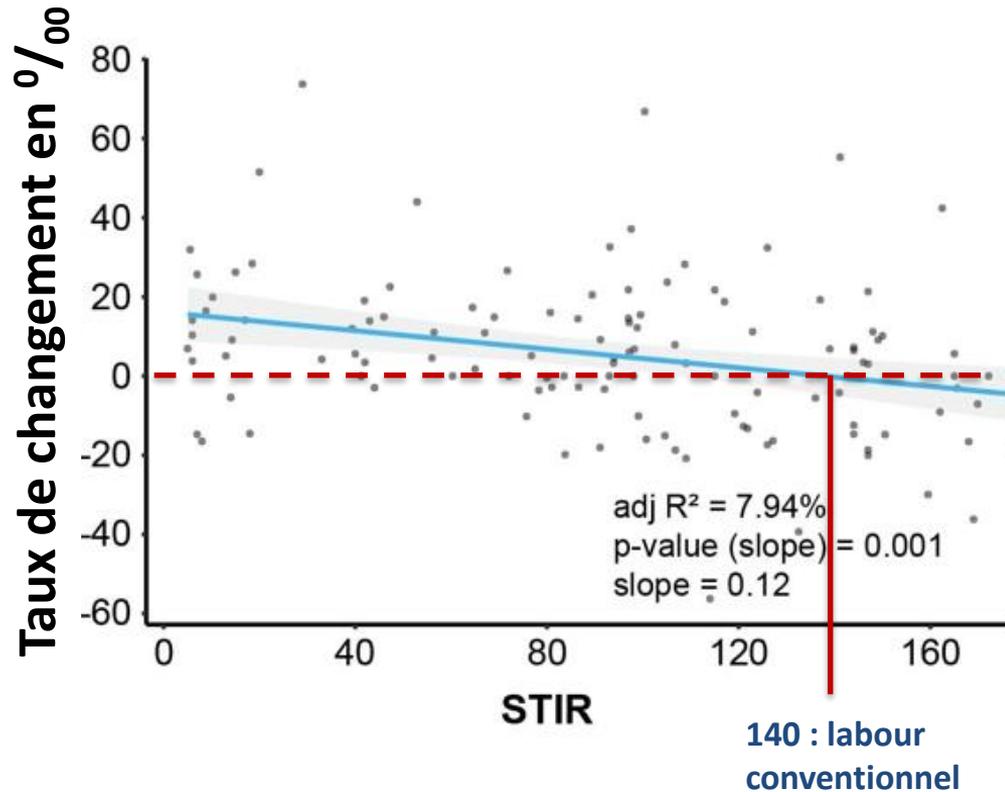
Fig. 5. SOC content deficit in % of the SOC content of the 0–20 cm topsoil of cropland fields from (A) Geneva (493 fields) and (B) Vaud (1265 fields) cantons as determined by the difference between the observed value and the 0.1 Structure Vulnerability Index threshold value. Dashed vertical line: me-

Dupla et al, 2021

Quelques exemples d'application

- C'est aussi une **question climatique** : détermination du potentiel de séquestration
- MO/Argile = 17% ? 2Mt sur Vaud (0-20 cm)
- MO/Argile = 21% ? 4Mt sur Vaud (0-20 cm)
- Les deux objectifs sont atteints et atteignables
- C'est aussi une question de vitesse
 - Les taux d'évolution des teneurs dans les sols sont connus
- Les leviers pour les obtenir sont connus

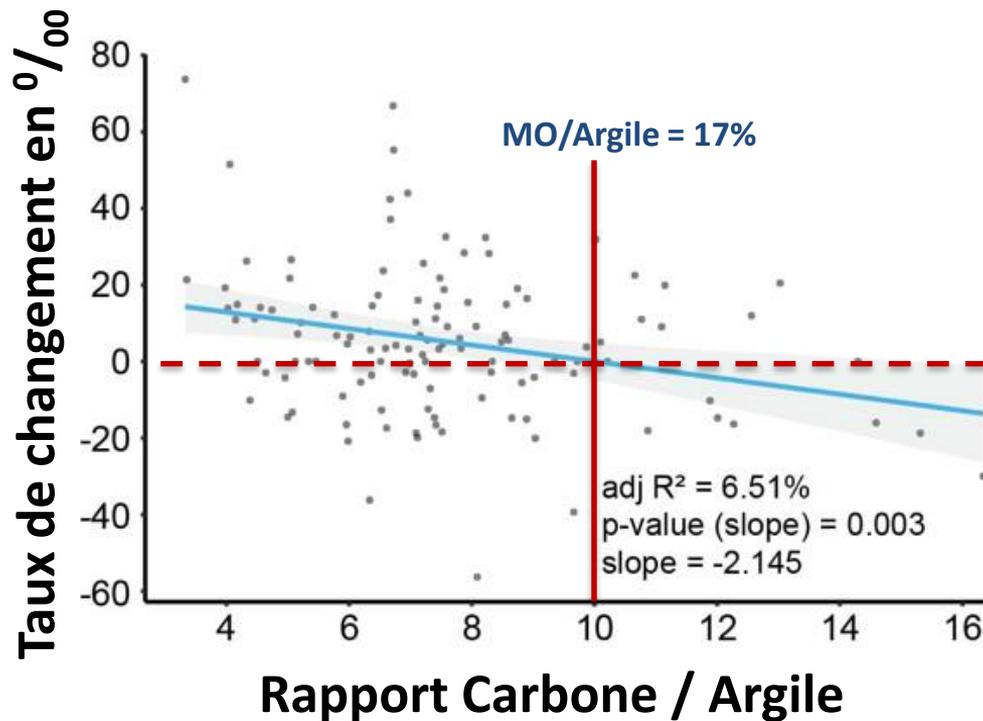
Quelques exemples d'application



Dupla et al, 2022

12.10.2023 – GT ForBS

Quelques exemples d'application



Dupla et
al, 2022

12.10.2023 – GT ForBS

Conclusions

- Du point de vue de la vulnérabilité du sol, on sait combien de MO il faut dans un sol
- Cela se détermine par rapport à la teneur en argile (s'il y a de l'argile)
- Donner une teneur dans l'absolu n'a pas de sens !
- Il n'y a pas de saturation observée du point de vue des propriétés du sol
 - Propriété = Ft linéaire de SOC en tout cas au delà de MO/A = 25%
 - Des SVI élevés sont observés dans tous les systèmes, on sait comment les obtenir
- Cela a des implications sur le pilotage de l'agriculture
- Les seuils MO/A ont été peu testés autrement sur d'autres propriétés que la structure.
 - Microbiologie (Naveed et al., 2016)
 - Propriétés de la MO (rapport formes labiles / réfractaires) (*In prep*)

A photograph of two men in a grassy field. The man on the left is kneeling, wearing a black long-sleeved shirt and glasses, looking down at a pile of soil. The man on the right is leaning over, wearing a green and white plaid shirt and a dark cap, also looking at the soil. The background is a vast green field under a bright sky. The text 'Merci pour votre attention' is overlaid in the center in a white font with a blue outline.

Merci pour votre attention