

28 octobre  
2020 en distanciel



comifer



# pH ET STRUCTURE DU SOL ?



Jean-Luc Julien

Membre de l'Académie d'Agriculture de France



# INTRODUCTION (1)



**La structure d'un sol : une histoire de plusieurs centaines d'années, où des processus physiques, chimiques et biologiques s'entremêlent.**

**Du point de vue de la fertilité des sols, la structure c'est des trous, de 30 à 50% du volume total, dont dépendent :**

- la réserve utile en eau,
- les niches pour les microorganismes du sol,
- et, pour les racines, l'accès aux ressources nutritives du sol.

**Le pH, c'est la concentration en  $H^+$  de la solution du sol.**

**Quel peut donc être le lien entre pH et structure du sol ?**

# INTRODUCTION (2)



## Avant de répondre à cette question, un peu d'histoire :

- 1995, relance du Groupe Chaulage du Comifer,
- André Turpin explique que le calcium ne joue aucun rôle dans la hausse du pH,
- il a fallu plusieurs années au Groupe Chaulage pour réapprendre les vrais fondements scientifiques du pH des sols,
- 1999, à la demande du Groupe Chaulage, une séance de l'Académie d'Agriculture de France est organisée sur le pH par Daniel Tessier.

**Ce diaporama est fondé sur les travaux de Daniel Tessier : il s'est posé exactement la même question !**

# LE LIEN ENTRE pH ET STRUCTURE DU SOL



## Les acquis du Groupe Chaulage :

- ce sont les bases fortes de l'amendement qui font remonter le pH,
- ces bases, des anions, arrachent les  $H^+$  acides du sol et les neutralisent,
- à la place de ces  $H^+$  apparaissent des charges négatives, basiques, dans le sol,
- la **Capacité d'Échange en Cations effective** du sol mesure le nombre de charges négatives. Elle augmente donc.
- Les cations de l'amendement s'adsorbent sur les charges négatives créées.

**Le lien est a priori la CEC effective du sol.**

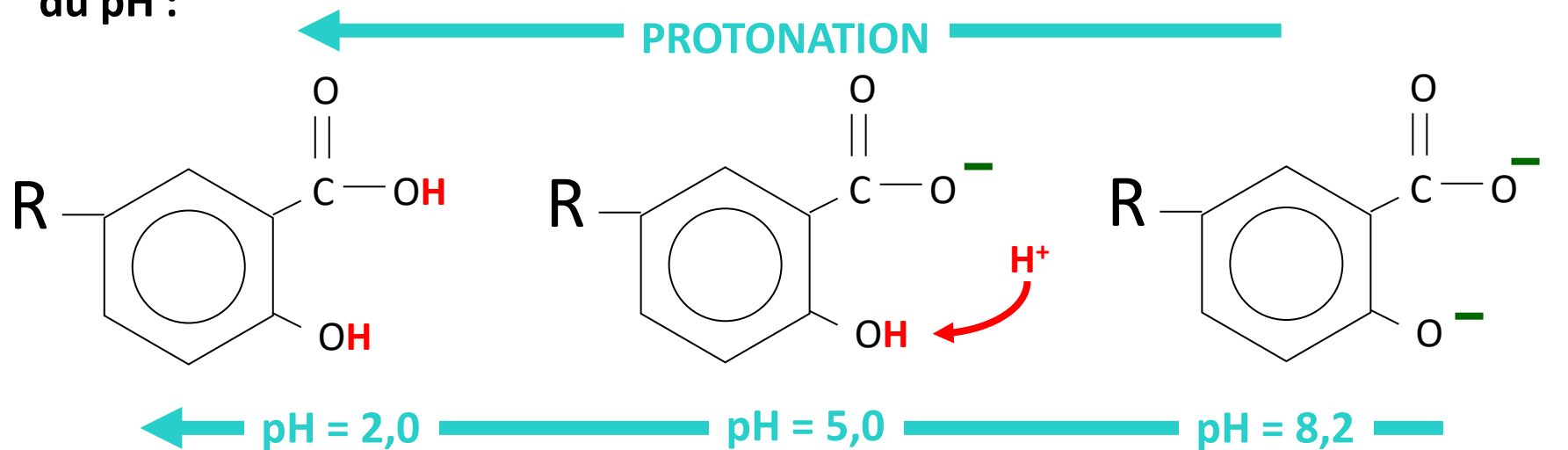
**Comment se modifie la CEC effective avec le pH ?**



# LE LIEN ENTRE pH ET STRUCTURE DU SOL (2)

## (A) Modification de la matière organique

Les radicaux organiques portent des charges dites variables car elles dépendent du pH :



Que des H, acides,  
Aucune charge négative.

Que des charges négatives, basiques,  
Schéma d'après Joseph Dufey.

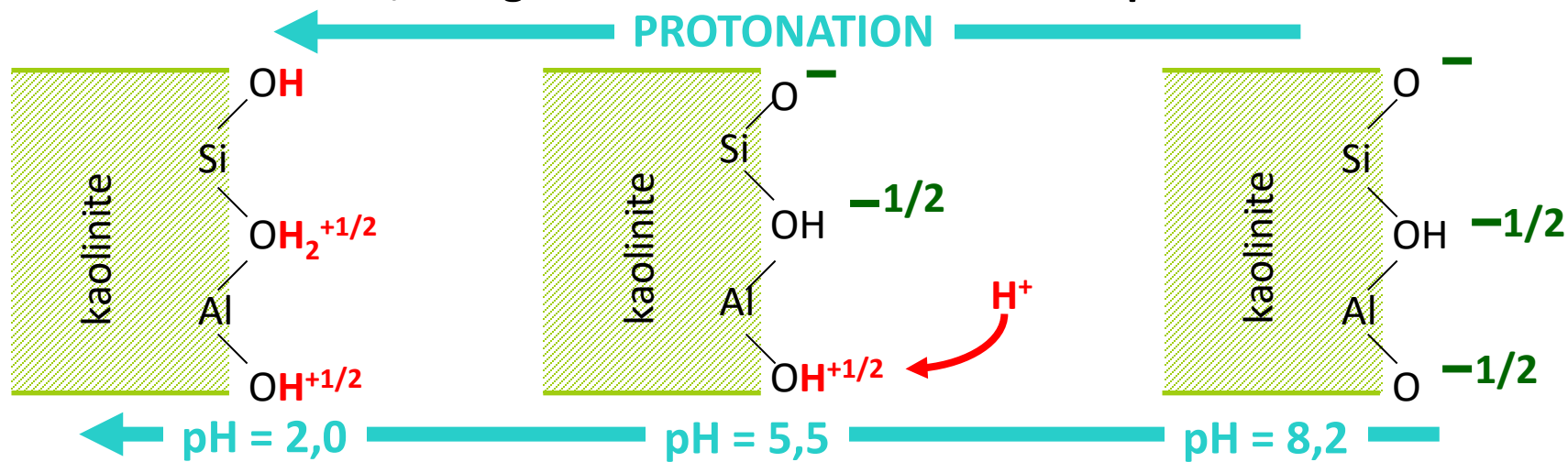
**Plus le pH est élevé, plus il y a de charges négatives : la CEC effective augmente.**

# LE LIEN ENTRE pH ET STRUCTURE DU SOL (3)

## (B) Modification des argiles

Sur les faces des feuillets, charges négatives, indépendantes du pH.

En bordure des feuillets, charges variables, dépendantes du pH.



Des H, acides,  
Charges positives ou nulles.

Que des charges négatives, basiques,  
Schéma d'après Joseph Dufey.

**Plus le pH est élevé, plus il y a de charges négatives : la CEC effective augmente.**

# LE LIEN ENTRE pH ET STRUCTURE DU SOL (4)

## (C) Les types de cations

Les cations ont des propriétés très différentes :

- Cations « structurants » :  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Al}^{+++}$
- Cations intermédiaires :  $\text{Mg}^{++}$
- Cations « dispersants » :  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$

l'espace entre les feuillets d'argile

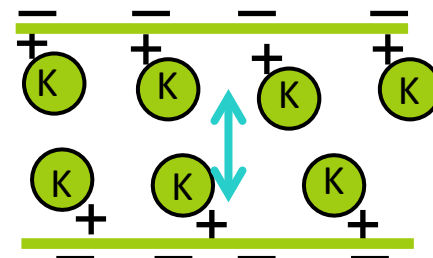
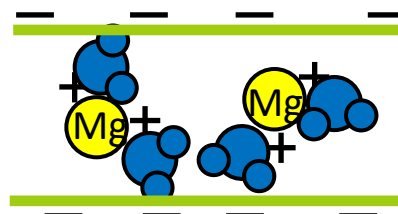
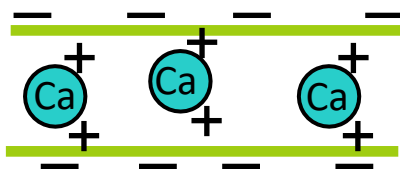
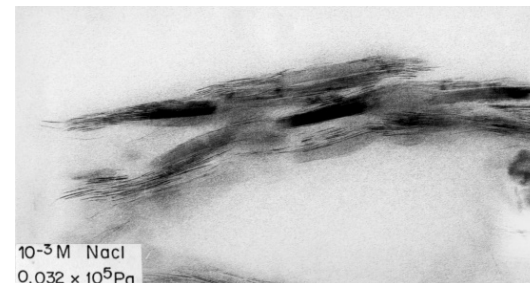
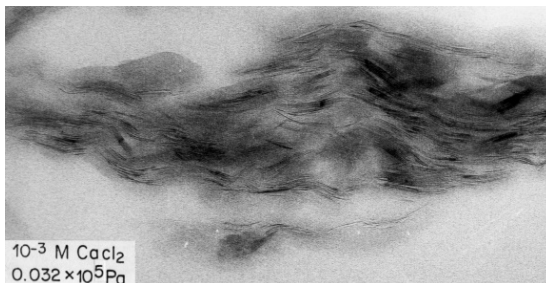


photo au microscope électronique à transmission (Elsass, Chenu, Tessier, 2008)



Daniel Tessier avait une bonne raison de valoriser ces rappels du Groupe Chaulage.



# L'ESSAI DES 42 PARCELLES DE VERSAILLES (1)

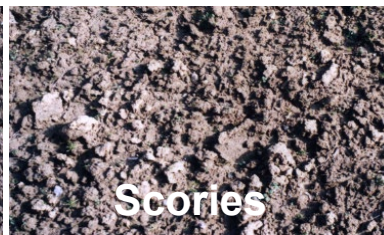
Des états de surface très différents

A la sortie de l'hiver

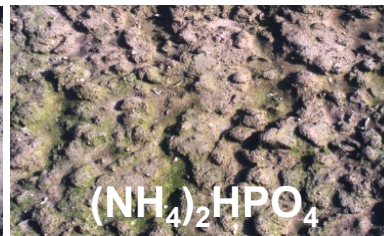
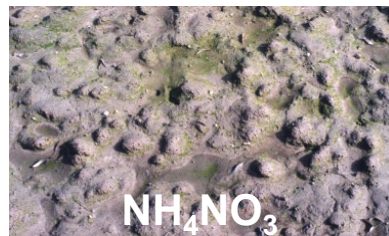
Un jour après une chute de neige



Amendements  
Parcelles basiques



Engrais acidifiants  
Parcelles très acides



Engrais neutres  
Parcelles K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup>



# L'ESSAI DES 42 PARCELLES DE VERSAILLES (2)



**Mis en place en 1929 pour étudier l'effet de différents engrais et amendements sur le sol**

- **Fumier (de cheval)**
- **Engrais neutres (nitrate de sodium et de calcium, chlorure de potassium)**
- **Engrais acidifiants (chlorure, sulfate et phosphate d'ammoniac, ammonitrate)**
- **Amendements basiques (chaux, carbonates, scories)**

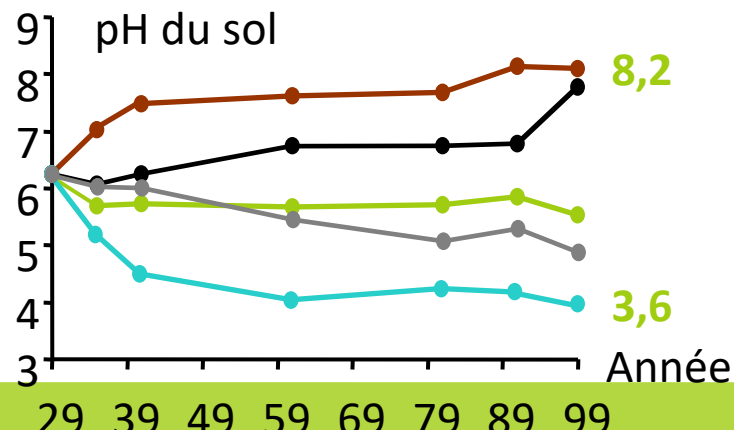
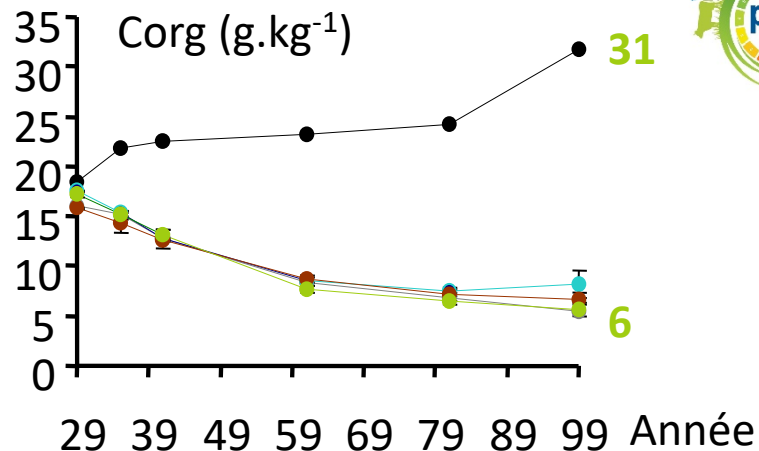
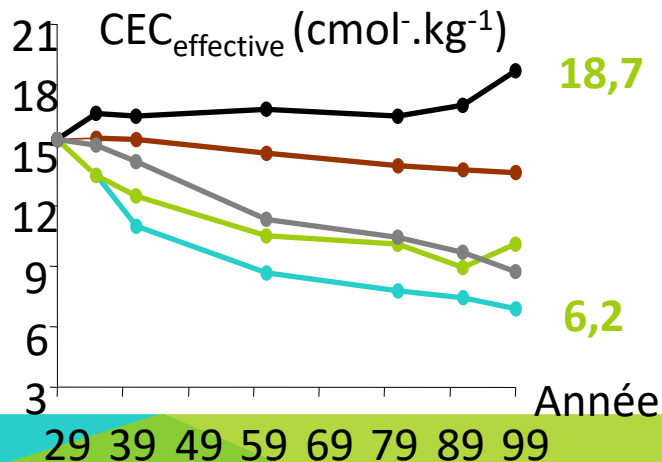
**Cultivé en jachère nue, bêché deux fois par an.**

**1999, Tessier lance la thèse d'Annie Pernes-Debuyser.**

# L'ESSAI DES 42 PARCELLES DE VERSAILLES (3)

## Évolution du carbone organique, du pH, et de la CEC effective

- Témoin
- Engrais acidifiants
- Engrais neutres
- Fumier
- Amendements basiques

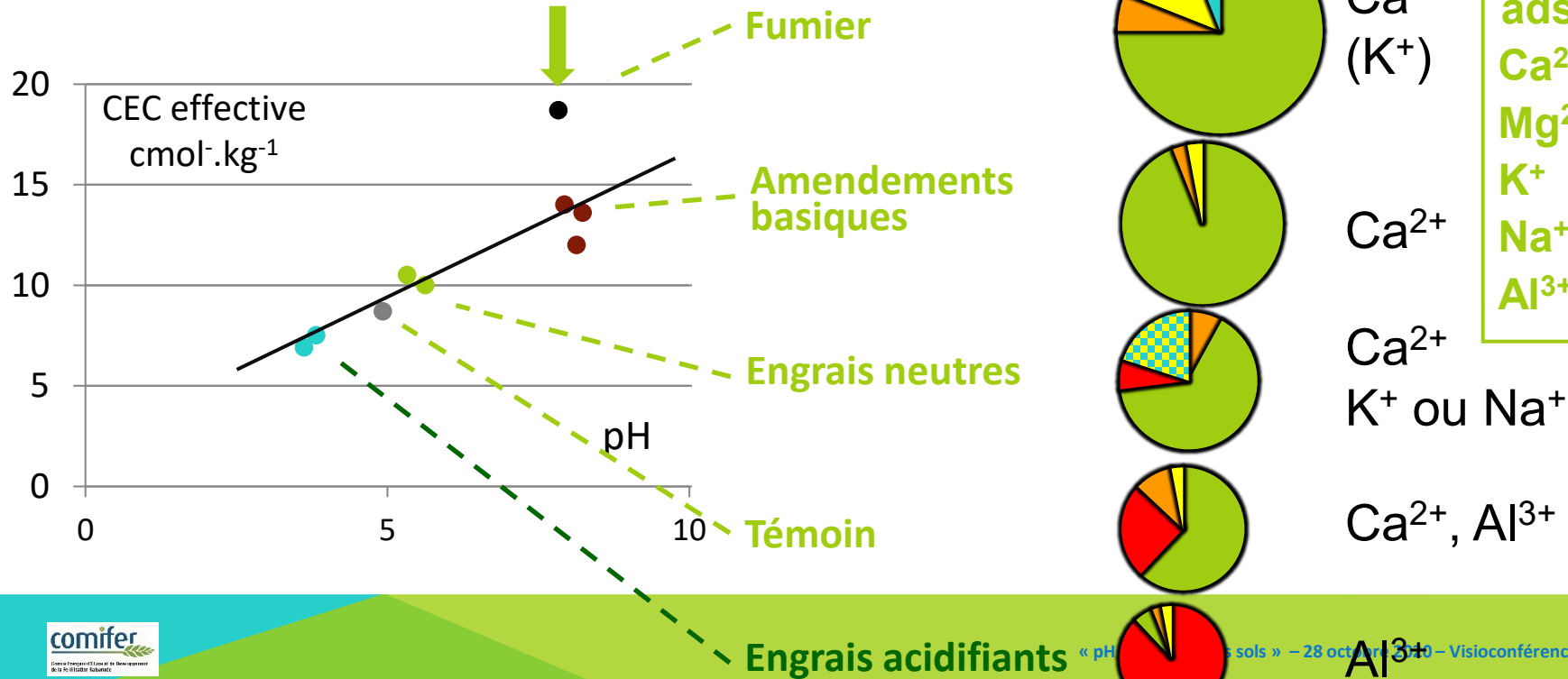


# L'ESSAI DES 42 PARCELLES DE VERSAILLES (4)

La relation entre le pH et la CEC effective est linéaire

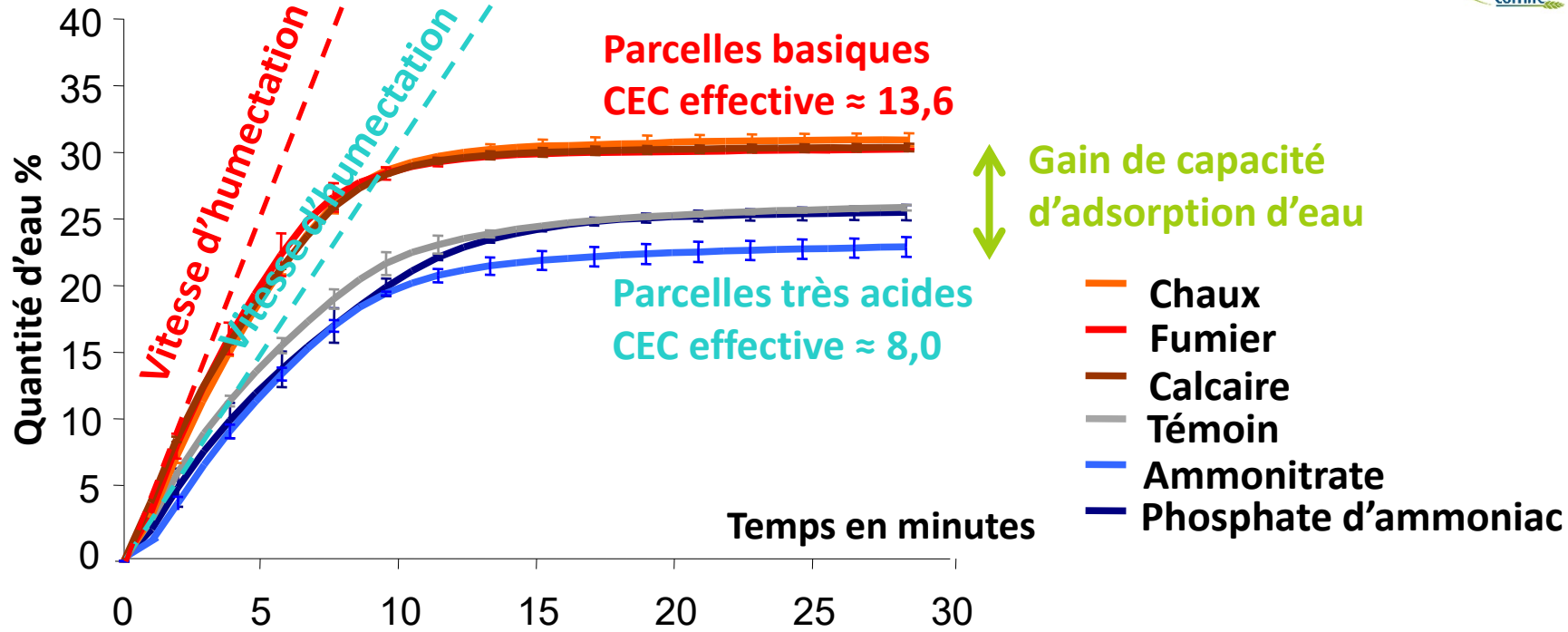
La parcelle fumier, plus riche en MO, a une CEC effective plus grande

La garniture cationique (en 1999)



# DEUX MÉCANISMES MAJEURS EXPLICATIFS

A : Vitesse d'humectation (1) Test sur poudre de sol :



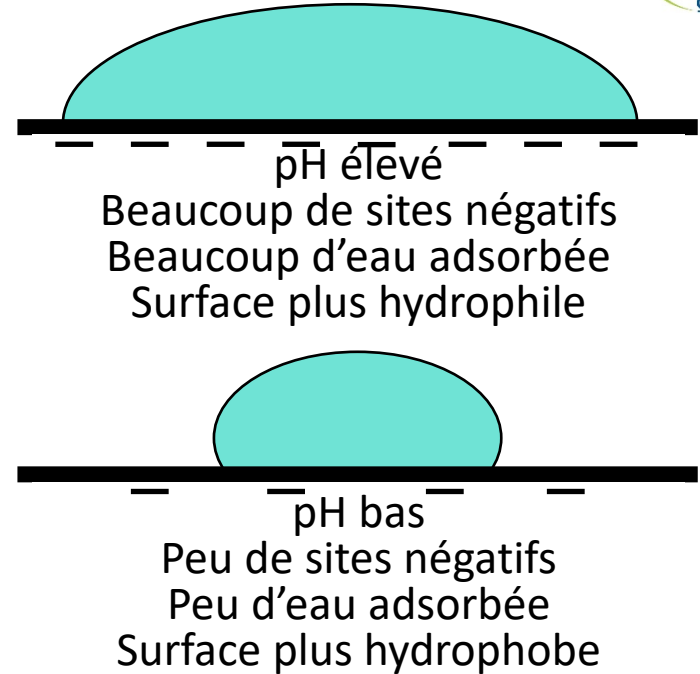
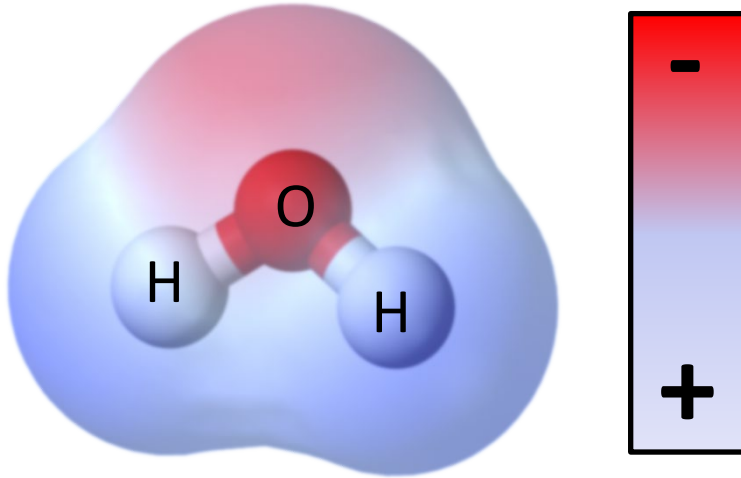
La vitesse d'humectation et la capacité d'adsorption d'eau paraissent liées à la CEC effective.



# DEUX MÉCANISMES MAJEURS EXPLICATIFS

## A : Vitesse d'humectation (2) Explication du mécanisme

L'eau est une molécule polaire.



L'affinité du sol pour l'eau augmente avec la CEC effective.

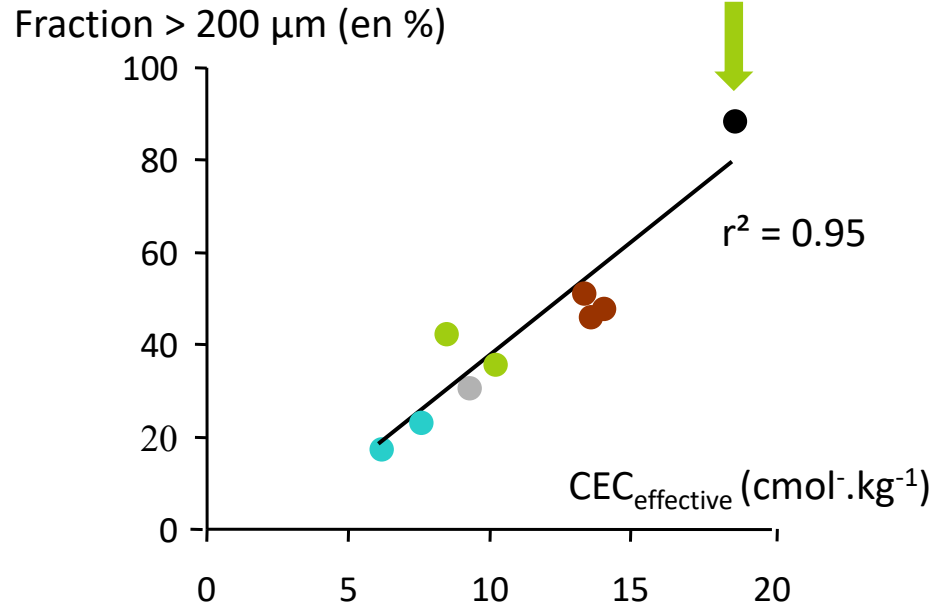


# DEUX MÉCANISMES MAJEURS EXPLICATIFS

## B : Stabilité des agrégats (1)

Test sur des agrégats  
en humectation lente :

- Témoïn
- Engrais acidifiants
- Engrais neutres
- Fumier
- Amendements basiques



Plus la CEC effective est grande, plus la stabilité est forte.

Contribution importante de la MO à la stabilité des agrégats.

# DEUX MÉCANISMES MAJEURS EXPLICATIFS

## B : Stabilité des agrégats (2)

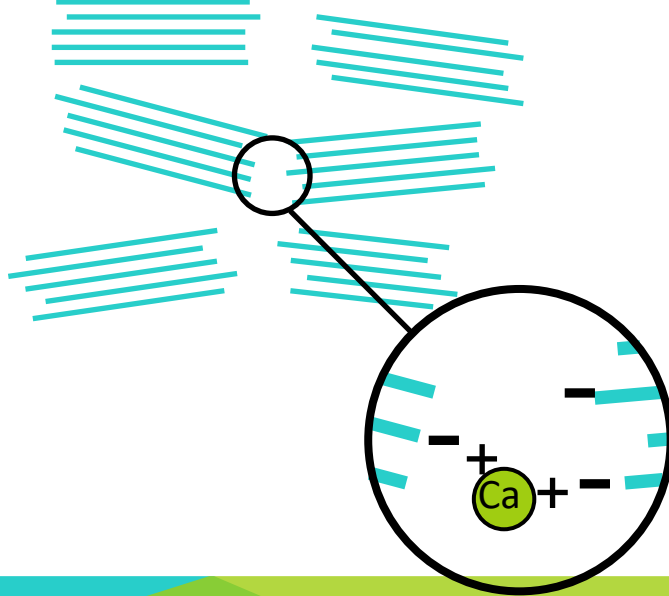
## Explication du mécanisme

pH bas, petite CEC

Paquets de feuillets d'argile peu agrégés

Peu de charges négatives

Peu d'ions calcium

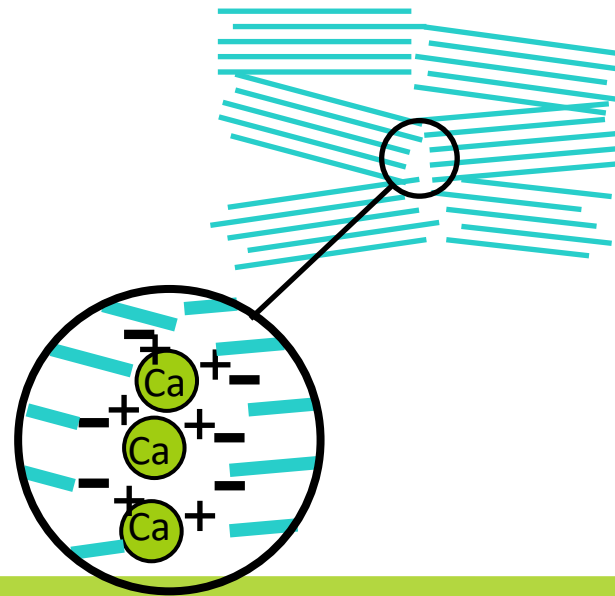


pH élevé, grande CEC

Paquets de feuillets d'argile bien agrégés

Plus de charges négatives

Plus d'ions calcium

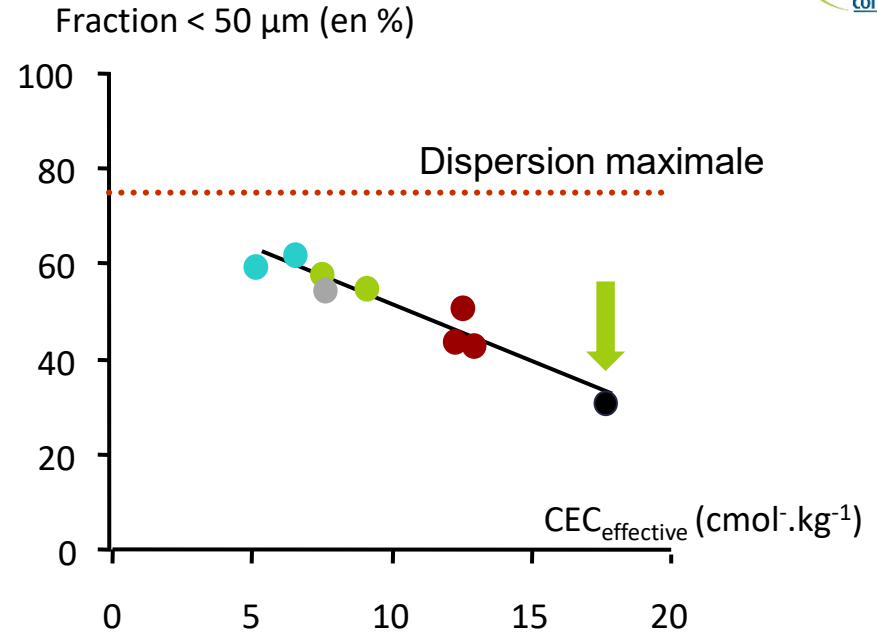


# DEUX MÉCANISMES MAJEURS EXPLICATIFS

## C : Une propriété complémentaire

**La dispersion des agrégats dans l'eau**  
(mesure au granulomètre laser)

- **Témoin**
- **Engrais acidifiants**
- **Engrais neutres**
- **Fumier**
- **Amendements basiques**



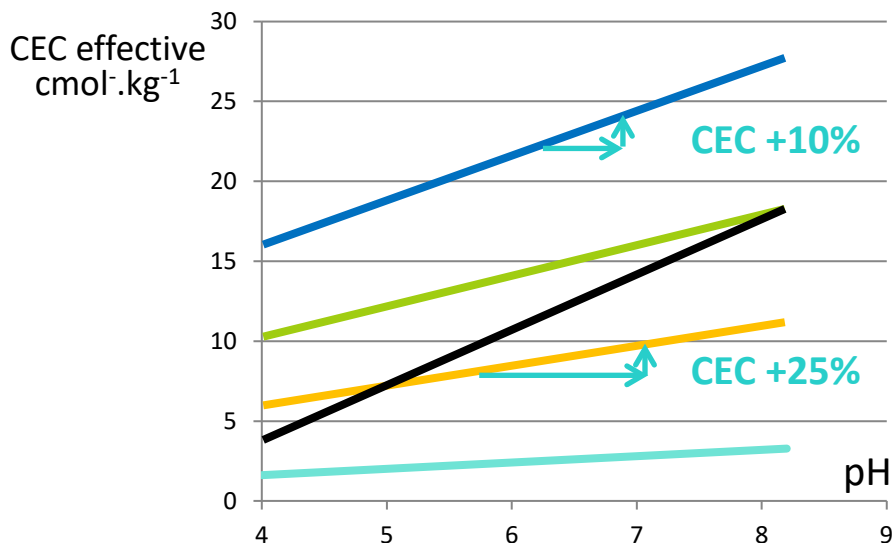
**Plus la CEC effective est grande, plus la dispersion est faible.**

**Effet important de la MO limitant la dispersion.**

# CONSÉQUENCES PRATIQUES AU CHAMP (1)

## Conséquence de la relation linéaire pH / CEC effective

- Ces trois propriétés s'améliorent progressivement avec le pH.
- Mais avec des effets variables selon les sols.



## Types de sols

- Très peu d'argile et de MO
- Argileux
- Limoneux, limono-sableux
- Limono-argileux
- Très organique
- ↗ Apport de 10 t/ha de  $\text{CaCO}_3$

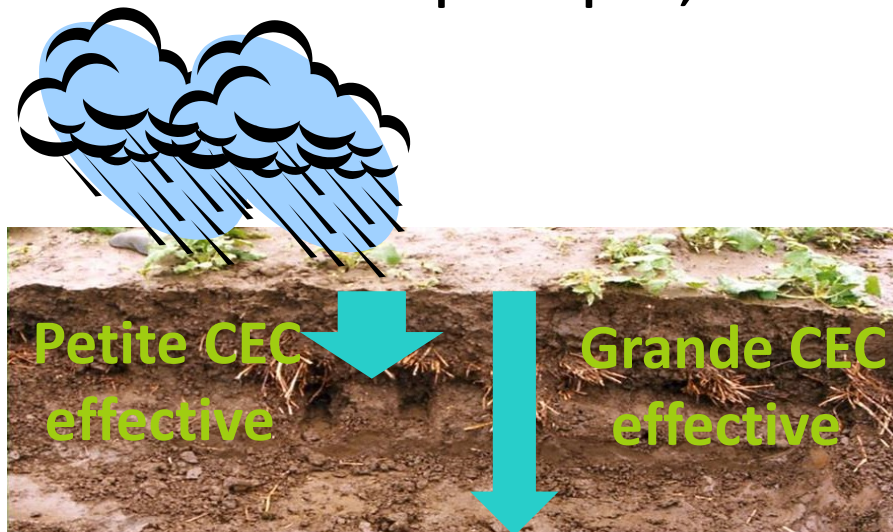
$$\text{CEC effective} = 0,0463 * A + 0,0044 * (\text{pH} - 5,56) * A + 0,0495 * (\text{pH} - 3,77) * \text{MO}$$

A et MO :  $\text{g.kg}^{-1}$ , MO/C=2, CEC :  $\text{cmol.kg}^{-1}$ , n=88,  $r^2=0,93$ .  
Julien J-L, Damay N, 2001.

La contribution de la MO à l'augmentation de la CEC est semblable à celle de l'argile

## CONSÉQUENCES PRATIQUES AU CHAMP (2)

La conséquence la plus visible est liée à l'augmentation de l'affinité pour l'eau :  
Lors d'une pluie, infiltration de l'eau plus rapide, l'eau descend plus profondément.



La teneur en eau en surface est plus faible,  
Le travail du sol peut se faire plus tôt,  
La sensibilité au tassement en surface est diminuée.

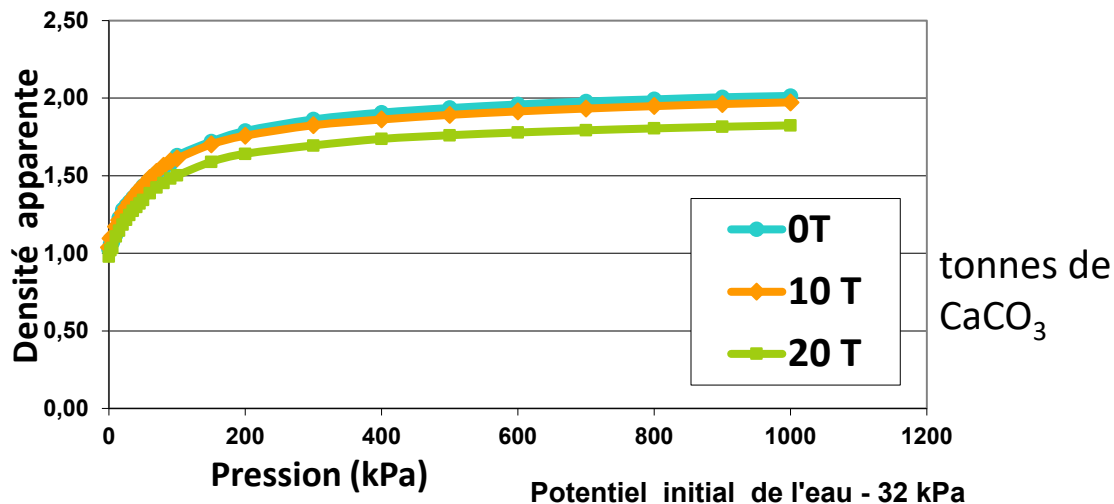
# CONSÉQUENCES PRATIQUES AU CHAMP (3)

## Meilleure stabilité des agrégats :

- meilleure stabilité des trous,
- en surface, moins de risque de battance,
- sensibilité au tassement est plus faible, propriété renforcée par la teneur en eau plus faible.

## Moindre sensibilité au tassement aussi en profondeur :

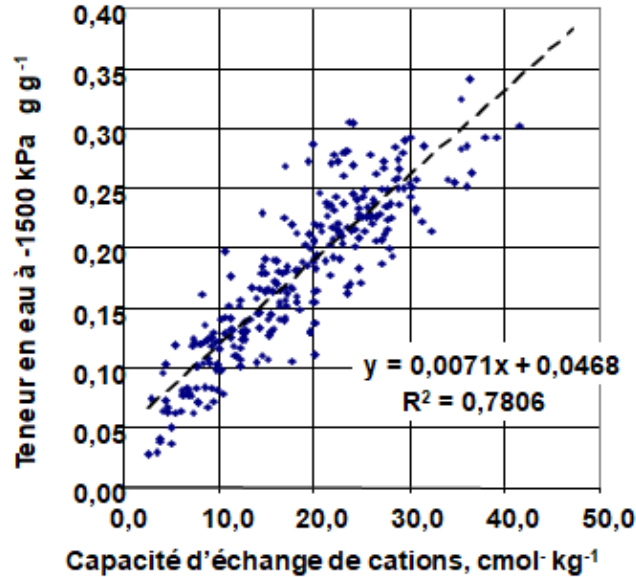
Essai des Grandes Règes,  
à Jeu les Bois,  
Arvalis, Suaci,  
Sous-sol,  
Vincent Garros, 2000.





# CONSÉQUENCES PRATIQUES AU CHAMP (4)

La capacité de rétention en eau au point de flétrissement (sécheresse).



**Au point de flétrissement,  
la teneur en eau est corrélée à la CEC.**

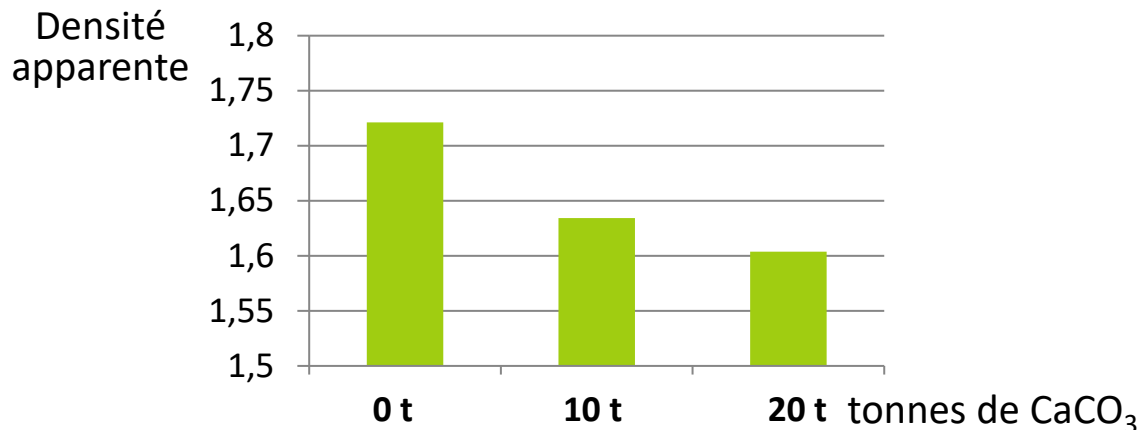
(Tessier, Bigorre, Bruand, 1999  
CEC Metson dans ce graphique)

**Pour des sols profonds, en cas de sécheresse, la réserve en eau est plus grande.**

# CONSÉQUENCES PRATIQUES AU CHAMP (5)

Enfin, les trous, amélioration éventuelle de la porosité,  
Il faut du temps : nombreux cycles humectation / dessiccation.

Essai des Grandes Règes  
à Jeu les Bois (36),  
Arvalis SUACI,  
Rotation cultures RGA,  
Sous-sol,  
Sol sablo-limoneux,  
1986-1996.  
Alexandra Pissot (2000).



**La densité apparente est plus faible, la porosité plus grande.**

**La réserve en eau est augmentée.**

**L'enracinement des cultures est meilleur.**

**L'effet sur les rendements est variable selon les années.**

# CONCLUSIONS (1)



**Le bon titre : pH, CEC effective et structure du sol.**

**La relation entre le pH et la CEC effective est linéaire.**

**Trois propriétés du sol dépendent de la CEC effective :**

- la vitesse d'humectation,
- la stabilité des agrégats,
- la capacité d'adsorption d'eau.

**L'amélioration de ces propriétés est progressive avec la hausse du pH**

**L'effet du chaulage sur ces propriétés est rapide, mais plus ou moins visible selon les types de sols.**

**In fine, ces trois propriétés concourent à une meilleure structure du sol.**

**L'amélioration de la porosité du sol est possible, mais il faut du temps.**

## CONCLUSIONS (2)



Grâce à sa CEC élevée, le carbone organique joue un rôle important sur la structure du sol (cas de la parcelle fumier).

Un rappel : la structure du sol joue de manière indirecte sur la fertilité du sol.

Il n'y a donc pas nécessairement chaque année un effet sur le rendement.

Sous nos climats, l'acidification des sols est inéluctable.

Pour éviter une dégradation progressive de la structure du sol, il faut chauler régulièrement, quelque soit le pH du sol (en l'absence de carbonates).



**Merci de votre attention**

28 octobre  
2020 en distanciel



comifer