

Rôles du pH, de la CEC effective et des
cations échangeables sur la stabilité
structurale et l'affinité pour l'eau du sol,
Explication des mécanismes et conséquences agronomiques

Jean-Luc Julien et Daniel Tessier
Membres de l'Académie d'Agriculture de France

Les apports de l'essai des 42 parcelles de Versailles

- **Introduction** : La Capacité d'échange en cations **effective** des sols, CECE, varie avec le pH. Cette variation est liée à certains constituants du sol. Et nous montrerons qu'il existe une relation entre la CECE et certaines propriétés des sols au champ.

- Pour un même sol, confirmation de la relation linéaire entre la CECE et le pH :

$$\text{CECE} = 1,63 * \text{pH}_{\text{eau}} - 0,12, \mathbf{r^2 = 0,93}$$

- L'affinité pour l'eau augmente avec la CECE :

$$\text{Vitesse d'humectation} = 0,19 * \text{CECE} - 0,33 * (\text{K}^+ + \text{Na}^+) + 2,3, \mathbf{r^2 = 0,90}$$

$$\text{Quantité d'eau retenue} = 0,79 * \text{CECE} + 1,87 * (\text{K}^+ + \text{Na}^+) + 20,6, \mathbf{r^2 = 0,92}$$

- La stabilité des agrégats augmente avec la CECE :

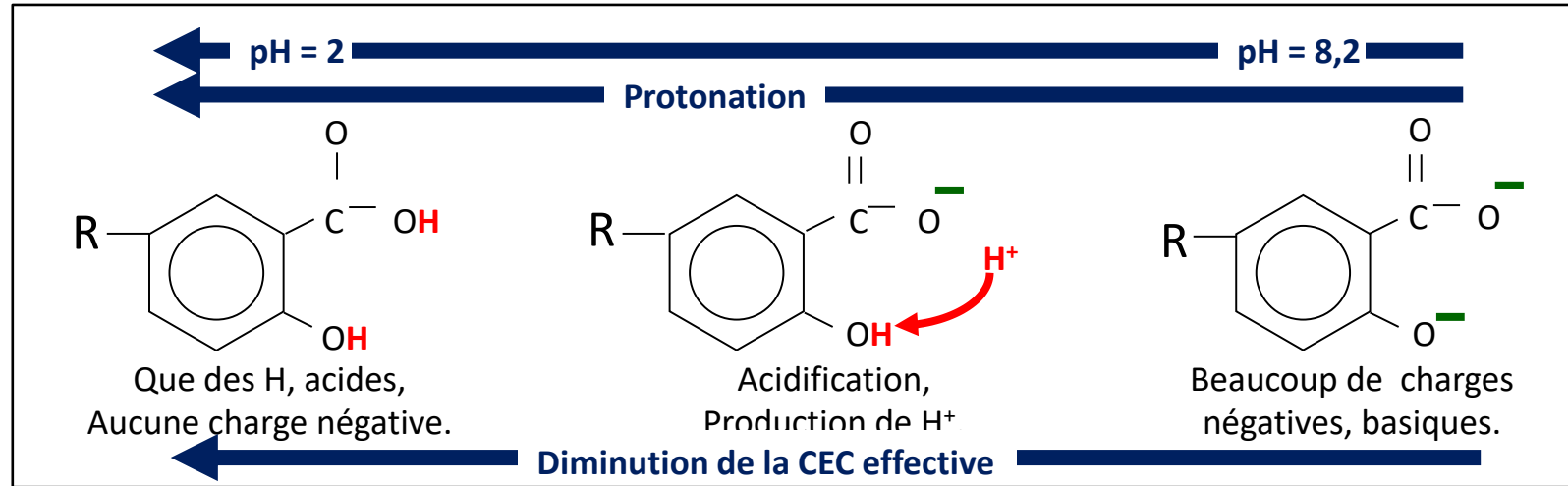
$$\text{Stabilité agrégats humides} = 4,88 * \text{CECE} - 14,0, \mathbf{r^2 = 0,87}$$

$$\text{Stabilité agrégats secs} = - 0,45 * \text{CECE} + 69,5, \mathbf{r^2 = 0,86}$$

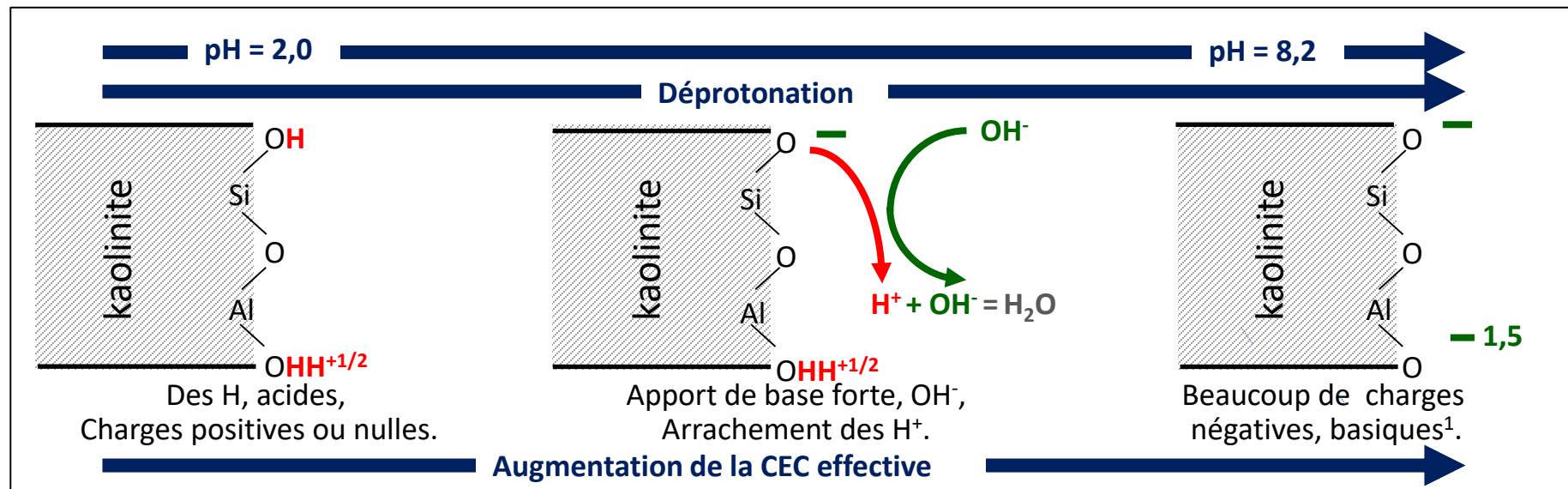
- Les r^2 élevés de ces 5 régressions sont dus à des explications mécanistes.

Mécanisme de la variation de la CECE en fonction du pH : les charges variables des minéraux argileux et des matières organiques

- Protonation des sites porteurs de charges variables lors d'apport de H^+



- Déprotonation des sites porteurs de charges variables lors d'apport de base forte



La relation CECE / pH est linéaire

- Cette relation peut être formalisée, exemple des sols de l'Aisne ($r^2 = 0,93$) :

$$\text{CECE} = \underbrace{0,0463 * A}_{\text{Charges permanentes}} + \underbrace{0,0044 * (\text{pH}_{\text{eau}} - 5,6) * A}_{\text{Charges variables de l'argile}} + \underbrace{0,0990 * (\text{pH}_{\text{eau}} - 3,8) * C_{\text{org}}}_{\text{Charges variables de la MO}}$$

Charges permanentes

Charges variables de l'argile

Charges variables de la MO

- Le poids important de la MO

Parcelle fumier

Parcelles basiques

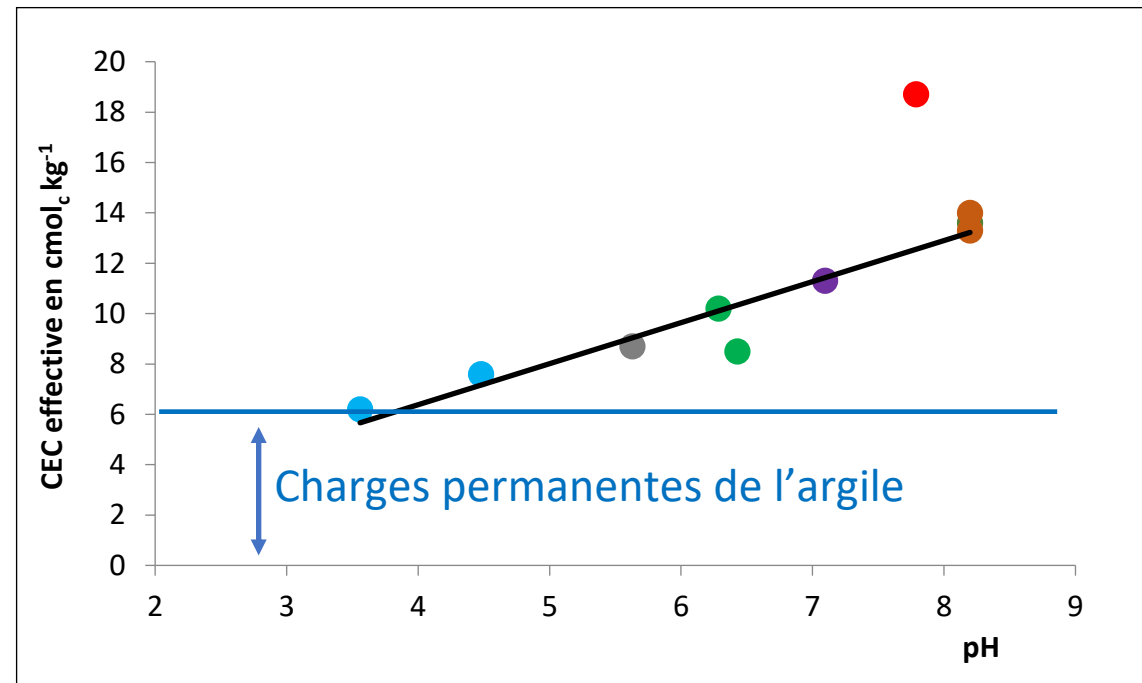
Superphosphate

Parcelles neutres

Témoin

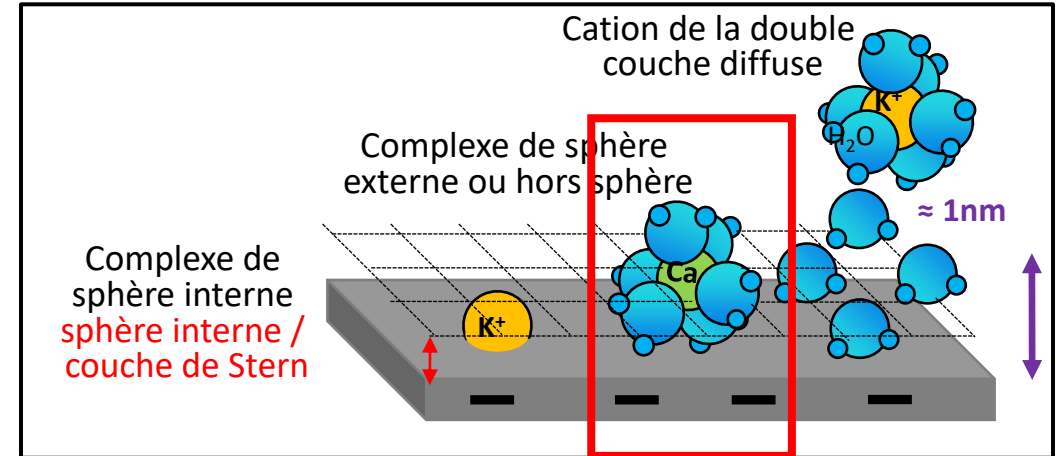
Parcelles acides

- Les charges variables sont essentiellement dues aux matières organiques

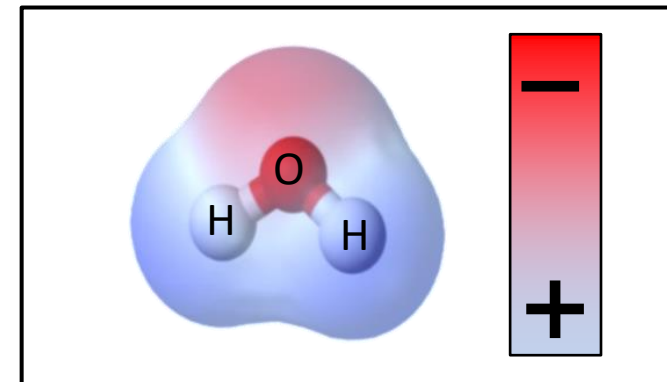


Mécanismes liés à l'affinité pour l'eau et la stabilité

- Les ions de charge opposée s'attirent
Le Ca^{2+} s'adsorbe sur les charges négatives,
C'est dû aux forces de Coulomb ($\approx 50\text{kJ}$ par mole),
À noter : Ca^{2+} est entouré de 6 molécules d'eau.

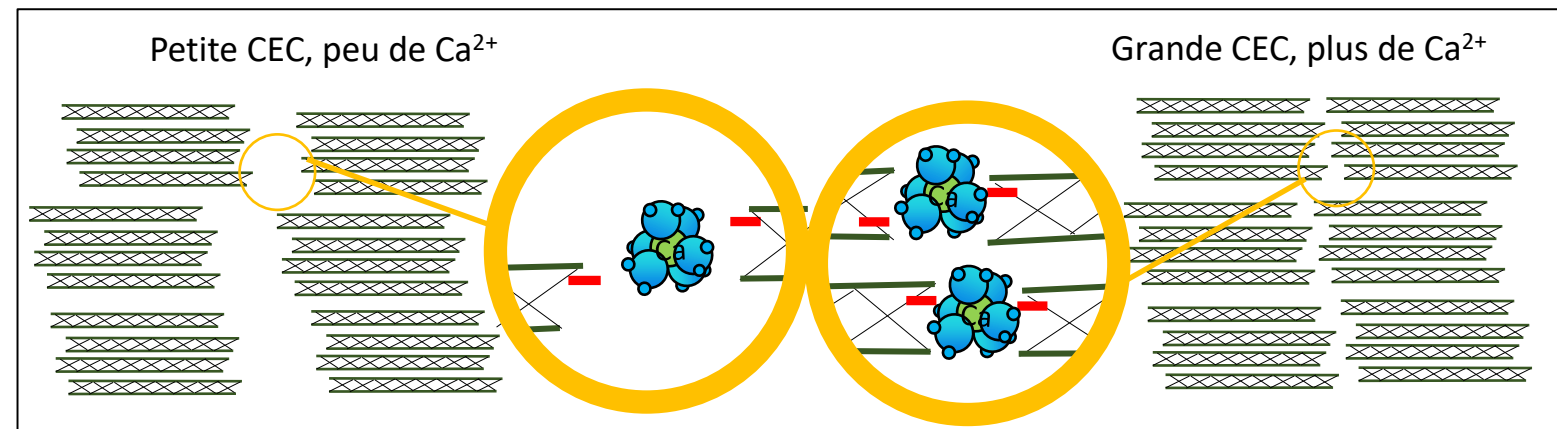
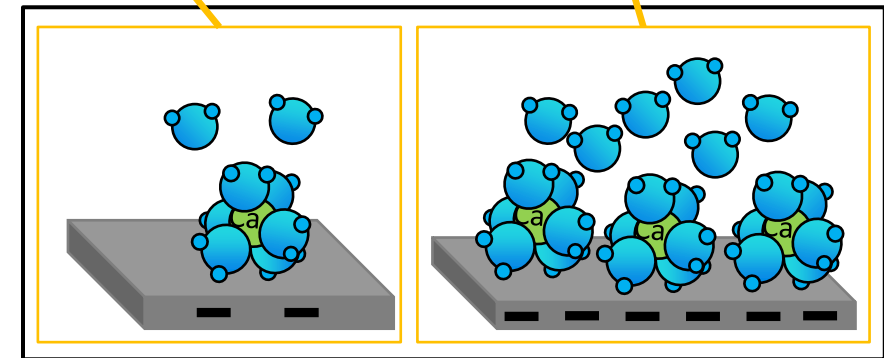
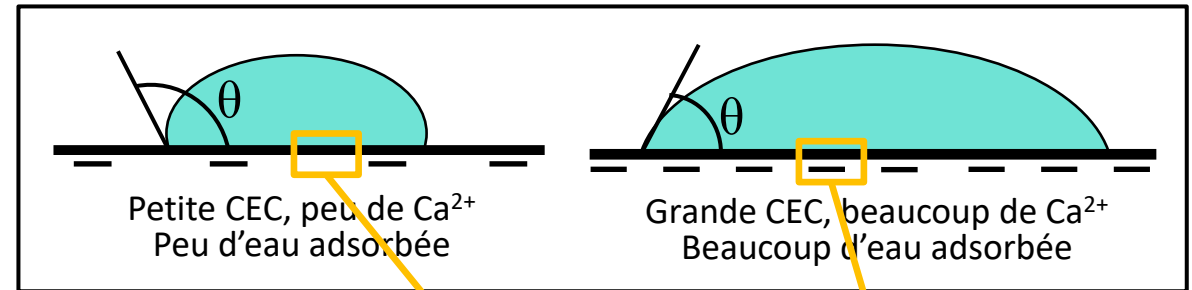


- La rétention de l'eau par le sol est due à la nature polaire de la molécule d'eau
Les molécules d'eau sont attirées par les « + » et les « - »,
Forces de van der Waals ($\approx 5\text{ kJ}$ par mole).



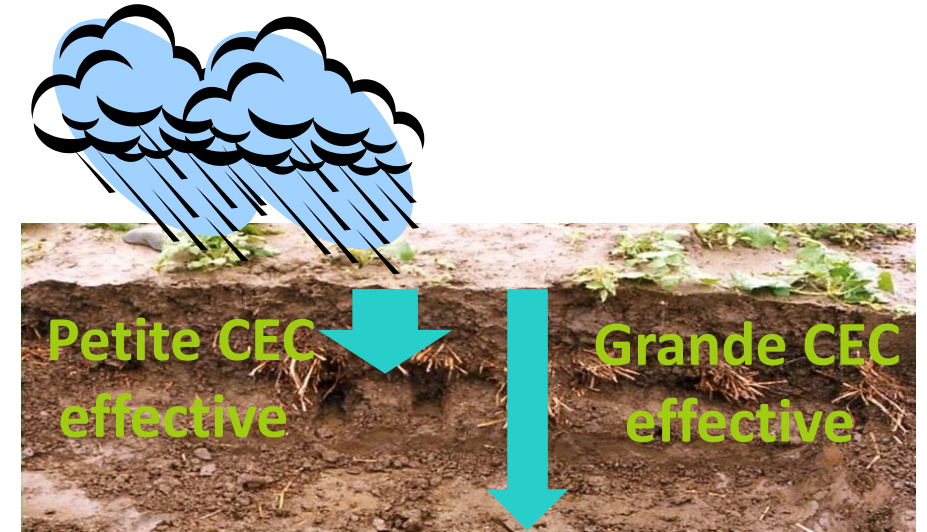
Conséquences d'une augmentation de la CEE

- L'énergie de rétention de l'eau augmente (une force de succion mesurée par le potentiel hydrique),
- Il y a plus d'eau adsorbée,
- L'affinité pour l'eau est plus grande.
- Les liaisons argile- Ca^{2+} -argile, argile- Ca^{2+} -MO et MO- Ca^{2+} -MO sont renforcées,
- La stabilité est améliorée.
- Le même mécanisme explique l'affinité pour l'eau et la stabilité structurale



Conséquences au champ de l'augmentation de l'affinité pour l'eau

- L'eau est plus fortement attirée par le sol,
- Lors d'une pluie, l'eau pénètre plus vite et plus profondément dans le sol,
- Le ruissellement en surface s'en trouve limité,
- Et la reconstitution de la réserve utile est plus efficace.



- Au champ, la vitesse de ressuyage est plus grande (confirmé par les essais ITCF).
- L'agriculteur peut rentrer dans sa parcelle plus tôt (validé par les expérimentateurs).
- L'agriculteur risque moins de compacter son sol car le sol est moins humide (explication de la moindre « prise en masse du sol » observée par Fabre et Kockmann).

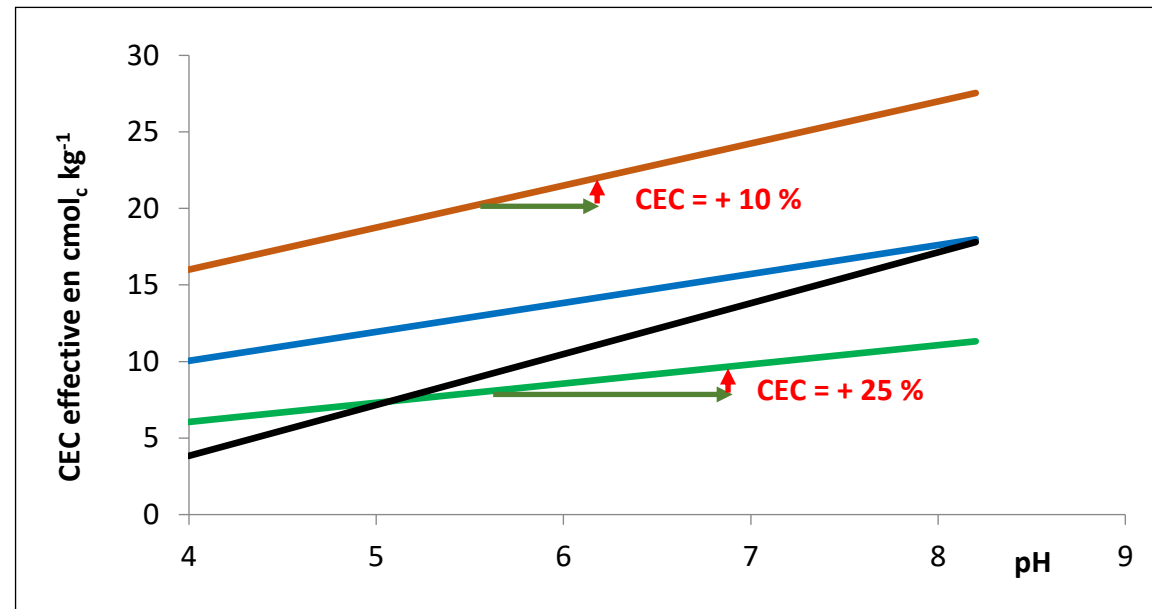
Conséquences au champ de l'augmentation de la stabilité structurale

- Les croûtes de battance se développent moins (explication des observations de Fabre et Kockmann).
- La porosité s'améliore (parcelle RGA des Grandes Règes).
- L'enracinement est facilité (Grandes Règes).
- Le drainage du sol est amélioré (Grandes Règes).
- **Conséquences de ces deux diapos :**
- La réserve utile en eau est probablement augmentée.
- Et, a priori, le travail du sol demande moins de gasoil et les outils s'usent moins vite.

Conséquence de la relation linéaire CECE / pH

- Extériorisation des effets d'autant plus faible que la CECE est élevée : les effets au champ seront surtout perceptibles pour les sols sablo-limoneux, limoneux et limono-argileux.

Pour un même
apport de CaCO_3
 $\text{CECE} = + 2\text{cmol}_c$
Sol argileux
Limon argileux
Limon
Sol organique



- Comme la relation est linéaire, difficulté d'établir des seuils de pH.

Autres effets et conséquences

- L'hydrophobicité de certains sols est liée aux pH bas.
- L'effet structurant de la MO est lié à ses charges négatives et est d'autant plus efficace que le pH est élevé.
- Deux manières d'augmenter la CECE : augmenter la teneur en MO et le pH.
- D'où l'importance de gérer ces deux paramètres en même temps.
- Une conséquence attribuée à l'augmentation du pH, mais plutôt liée à la CECE : l'augmentation de la biomasse microbienne,
- Les conséquences variées du chaulage soulignent l'intérêt des analyses plurifactorielles (comme l'exposé de Laurent Varvoux à la journée Comifer).
- Un conseil : avec le GIS Sol et le RMT « Sols et Territoires », susciter l'établissement d'équations analogues à l'équation des sols de l'Aisne par grandes régions.

Effets spécifiques des cations monovalents

Si la teneur en cations monovalents dépasse 15% (K^+ + Na^+) :

- Aux faibles teneurs en eau du sol (<25%), les cations monovalents jouent négativement sur la vitesse d'humectation avec deux conséquences :
 - La vitesse d'infiltration de l'eau lors d'une pluie est diminuée.
 - Les croûtes de battance se développent alors plus vite (Bresson et Boiffin).
 - Le ruissellement en surface est augmenté.
- Aux fortes teneurs en eau (>25%), les cations monovalents jouent positivement sur la rétention d'eau :
 - Exprimée par charge, la quantité d'eau retenue par K^+ ou Na^+ est le double de celle retenue par Ca^{2+} .
 - La réserve utile est augmentée.