

Problématique du chaulage en sol très acide

Bruno Félix-Faure

Rappels de chimie des sols

L'aluminium est un des éléments chimiques entrant dans la composition des différents types d'argile dans des proportions variables

En milieu acide, les feuillets d'argile libèrent des ions Al^{3+} selon une réaction chimique réversible,

exemple de la Kaolinite :



(Chemical Speciation in the Environment publié par A. Ure et C. Davidson)

Les concentrations en ions Al^{3+} **dans la solution du sol et/ou dans une solution d'extraction** ne sont donc significatives que pour des pH acides

Quelques rappels de chimie

En solution : Proportion des différentes formes d'hydroxyde d'aluminium (monomères) et des ions Al^{3+} en fonction du pH

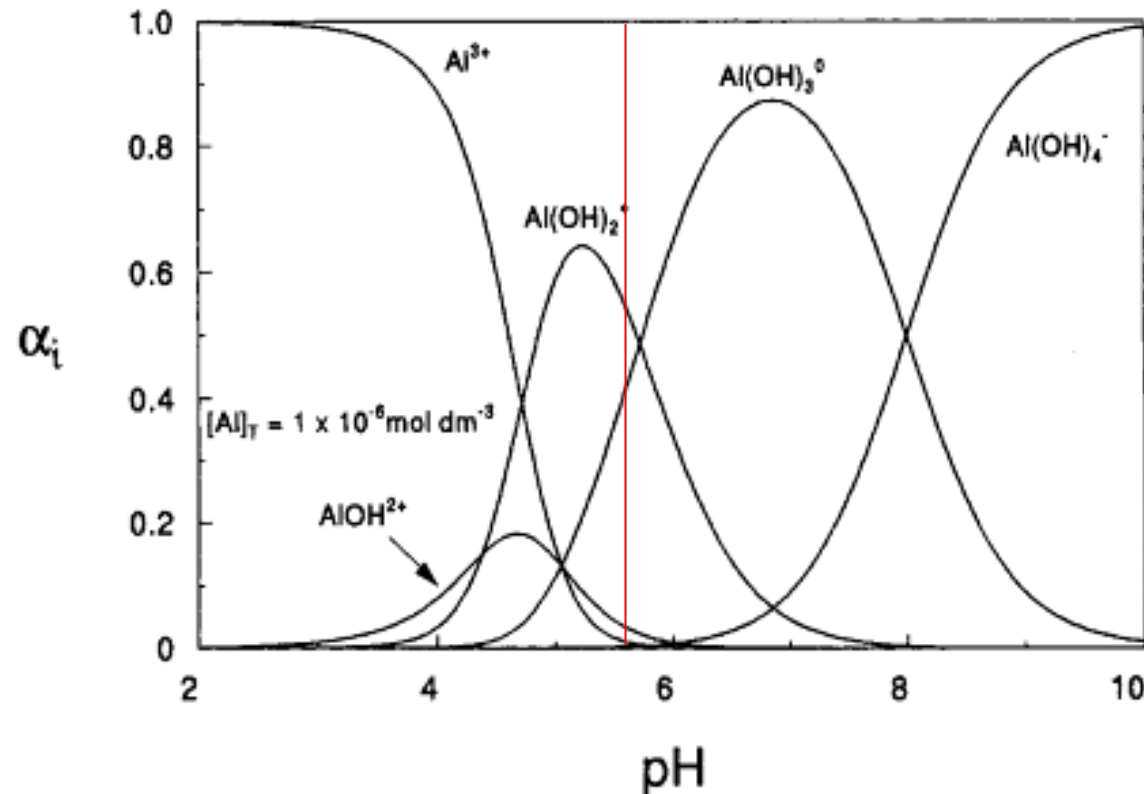


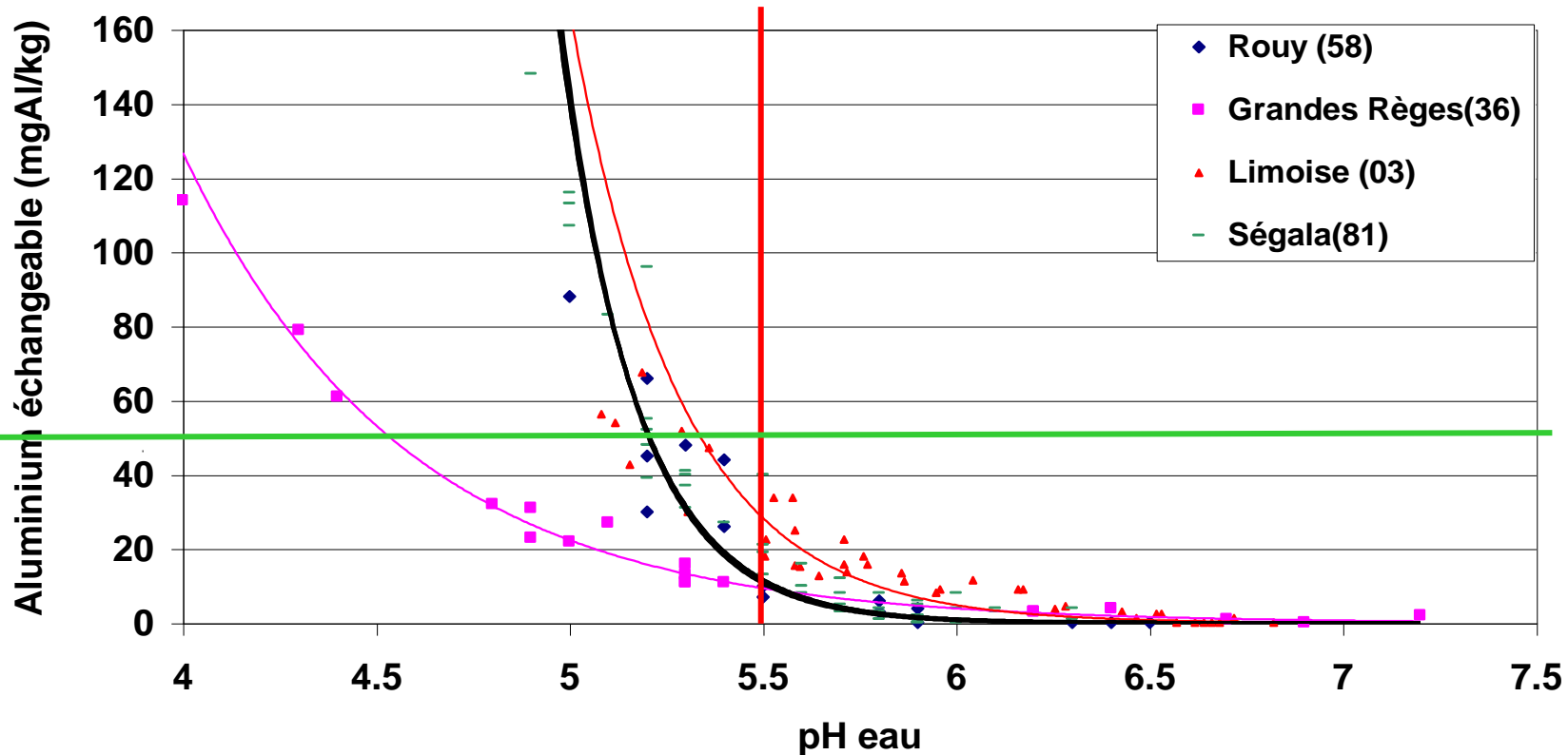
Figure 5.2 The relative proportions (α_i) of monomeric hydroxy-aluminium species as a function of pH. For the calculation ionic strength was fixed at $0.001 \text{ mol dm}^{-3}$ and activity corrections were made using the Davis equation.

Chemical Speciation in the Environment publié par A. Ure et C. Davidson

L'aluminium échangeable : cas de toxicité aluminique

Relation entre la teneur en aluminium échangeable et le pH eau des sols

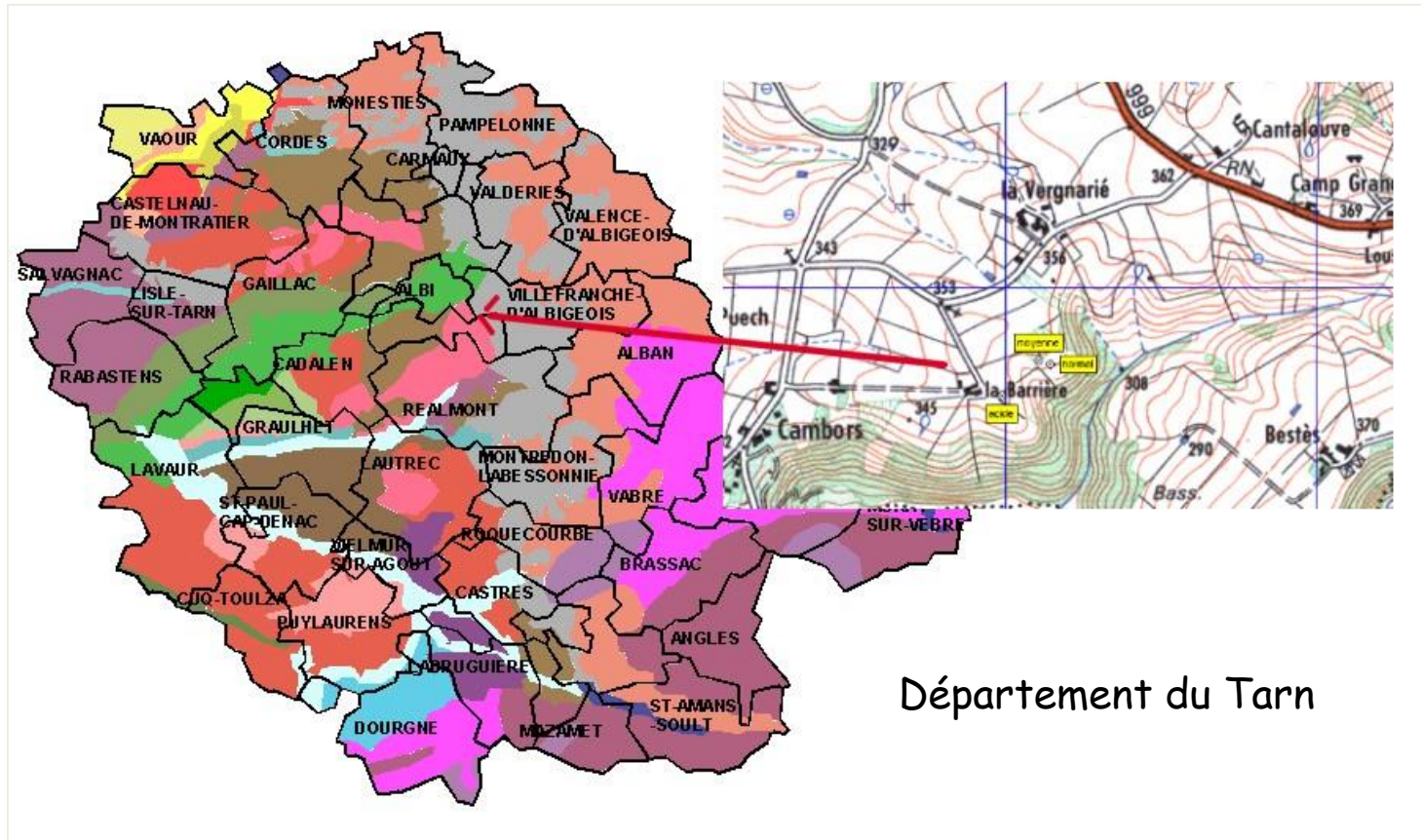
Relation entre pH eau et Aluminium échangeable sur plusieurs sites expérimentaux



L'aluminium échangeable : cas de toxicité aluminique

Relation entre la teneur en aluminium échangeable et le pH eau des sols

Localisation de la parcelle



Département du Tarn

→ L'Aluminium échangeable

Exemple de toxicité aluminique

Parcelle située à proximité d'Albi (81)

Culture Blé dur – problème de zones avec dépérissement puis disparition de la majorité des plantes

3 échantillons de terre sont prélevés début du mois de mai :

zone 1 : Rien ne pousse

– zone 2 : Blé + folle avoine

– zone 3 : bon blé dur

Dépérissement, disparition du blé

Zone 1



Pieds de blé et racines

Ref	Sable Grossier g/kg	Sable Fin g/kg	Limon Grossier g/kg	Limon Fin g/kg	Argile g/kg	Matières Organiques g/kg	CEC meq/kg
Rien ne pousse	247	243	130	149	211	20,8	97

pHeau = 4,7

pHKCl = 4,3

CaO échangeable = 480 mg/kg

Taux de saturation (S/CEC) = 20%

Al éch. = 74,5 mg/kg

Seuil toxicité aluminique : 50 mg/kg

Teneur Al éch. > seuil toxicité

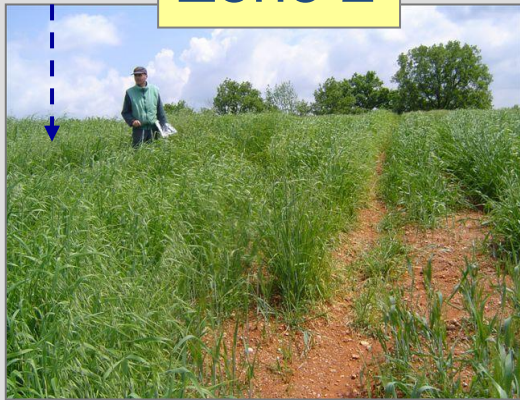
→ L'Aluminium Echangeable (Al. éch.) :

Exemple de toxicité aluminique

Folle avoine, le blé a disparu



Zone 2



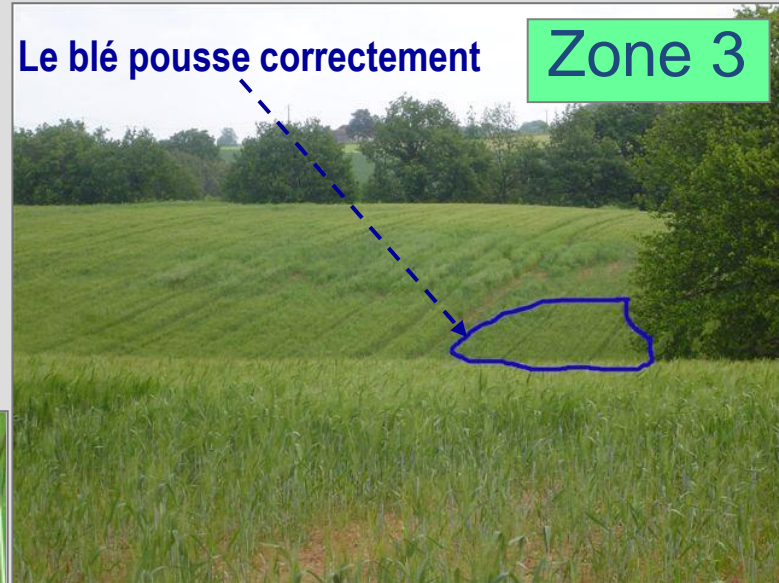
Très forte corrélation entre la teneur en Al. éch. et le pHeau

Pieds de blé et racines



Le blé pousse correctement

Zone 3



Ref	Sable Grossier g/kg	Sable Fin g/kg	Limon Grossier g/kg	Limon Fin g/kg	Argile g/kg	Matières Organiques g/kg	CEC meq/kg
Blé + folle avoine	293	160	109	118	297	17,6	155

pHeau = 5,4 pHKCl = 4,4
CaO échangeable = 1558 mg/kg
Taux de saturation (S/CEC) = 40%

Al éch. = 40,2 mg/kg

Ref	Sable Grossier g/kg	Sable Fin g/kg	Limon Grossier g/kg	Limon Fin g/kg	Argile g/kg	Matières Organiques g/kg	CEC meq/kg
Bon blé dur	331	221	128	133	178	19,2	92

pHeau = 5,9 pHKCl = 5,1
CaO échangeable = 1257 mg/kg
Taux de saturation (S/CEC) = 60%

Al éch. = 6,5 mg/kg

Seuil toxicité aluminique : 50 mg/kg

Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)

Tout cation adsorbé et +/- échangeable, est en équilibre avec le même cation en solution.

Donc Al^{3+} (et les autres cations de l'aluminium tels AlOH^{2+} et $\text{Al}(\text{OH})_2^+$...) adsorbés sur les feuillets d'argile (phyllosilicates) sont en équilibre avec les mêmes en solution.

→ apport d'un AMB (carbonate ou chaux) en sol très acide :

Si le pH de la solution augmente suffisamment pour précipiter $\text{Al}(\text{OH})_3$, l'équilibre est rompu.

Ce qui fait se désorber des Al^{3+} , qui passent dans la solution.

Ces Al^{3+} désorbés perdent leur charge en se liant à des HO^- et forment par précipitation $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Chaulage en sol très acide ($pH_{\text{eau}} < 5,5$)

Que devient le cation calcium après action de la base ?

Suite à cette désorption des Al^{3+} , les phyllosilicates ont besoin de trouver une charge cationique compensatrice égale.

Si deux Al^{3+} sont désorbés.

Ces deux Al^{3+} perdent leurs charges et se lient à six HO^- .

Pour compenser suite à cette désorption les $(2 \times 3) = 6$ charges négatives du phyllosilicate, 3 Ca^{2+} provenant de l'apport de carbonate ou de chaux qui viennent s'adsorber sur le phyllosilicate.

Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)

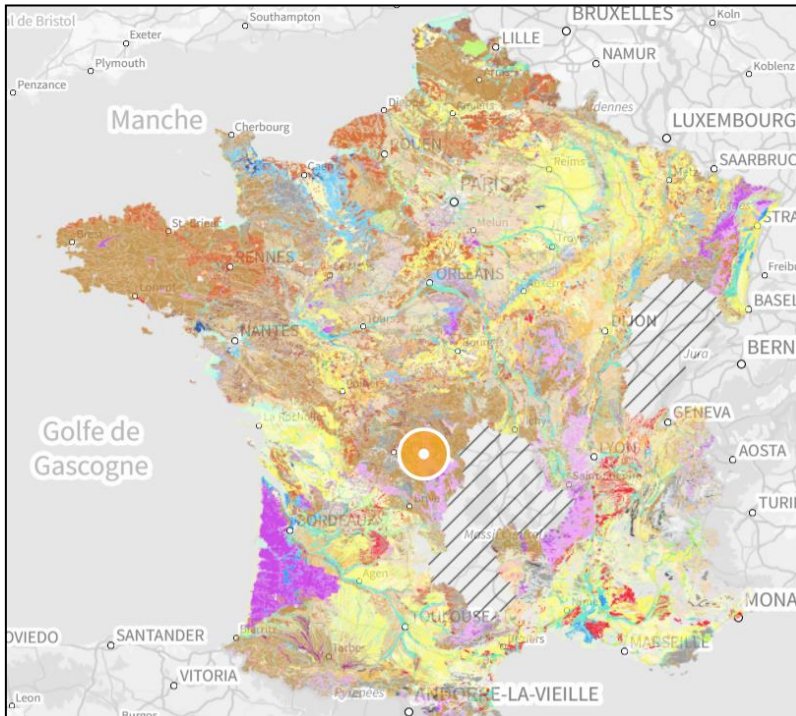
La présence de Ca^{2+} diminue la toxicité de Al^{3+}

La plante peut avoir besoin d'absorber des charges positives pour maintenir sa balance électrostatique.

Si elle absorbe Al^{3+} , elle meurt (*phytotoxicité de l'aluminium*)

Si elle dispose de Ca^{2+} en concentration suffisante, elle absorbe ce cation au lieu de Al^{3+} et ça va mieux pour elle.

Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)



ONF : Peyrat-le-Château 87

Plantation de douglas

→ Une 1^{ère} série d'analyses effectuées

Fin février 2022

Mais avec Labosol.

40 analyses de sol

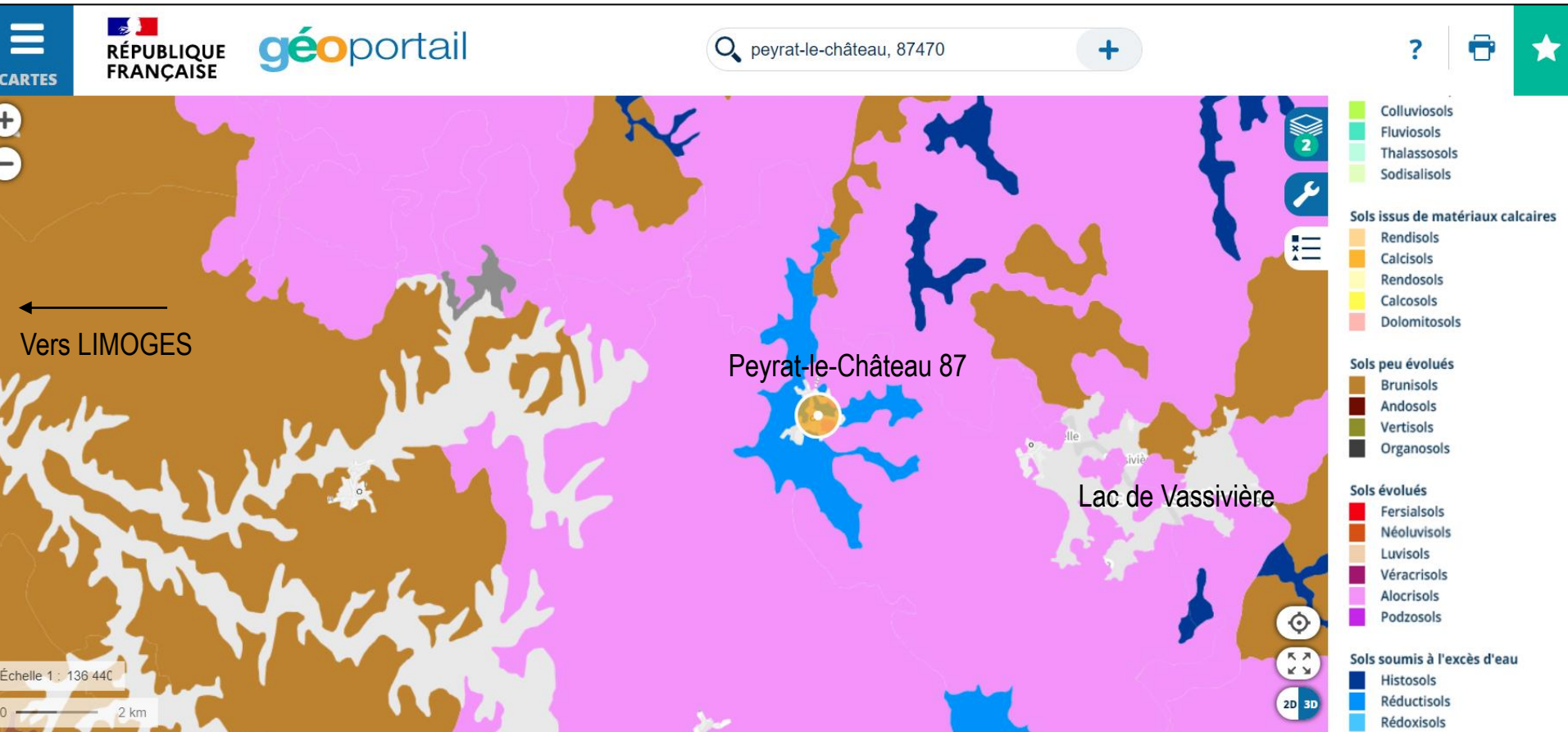
Les analyses révèlent des sols très acides

Une chaulage est pratiqué à la plantation
avec apport de fertilisant :

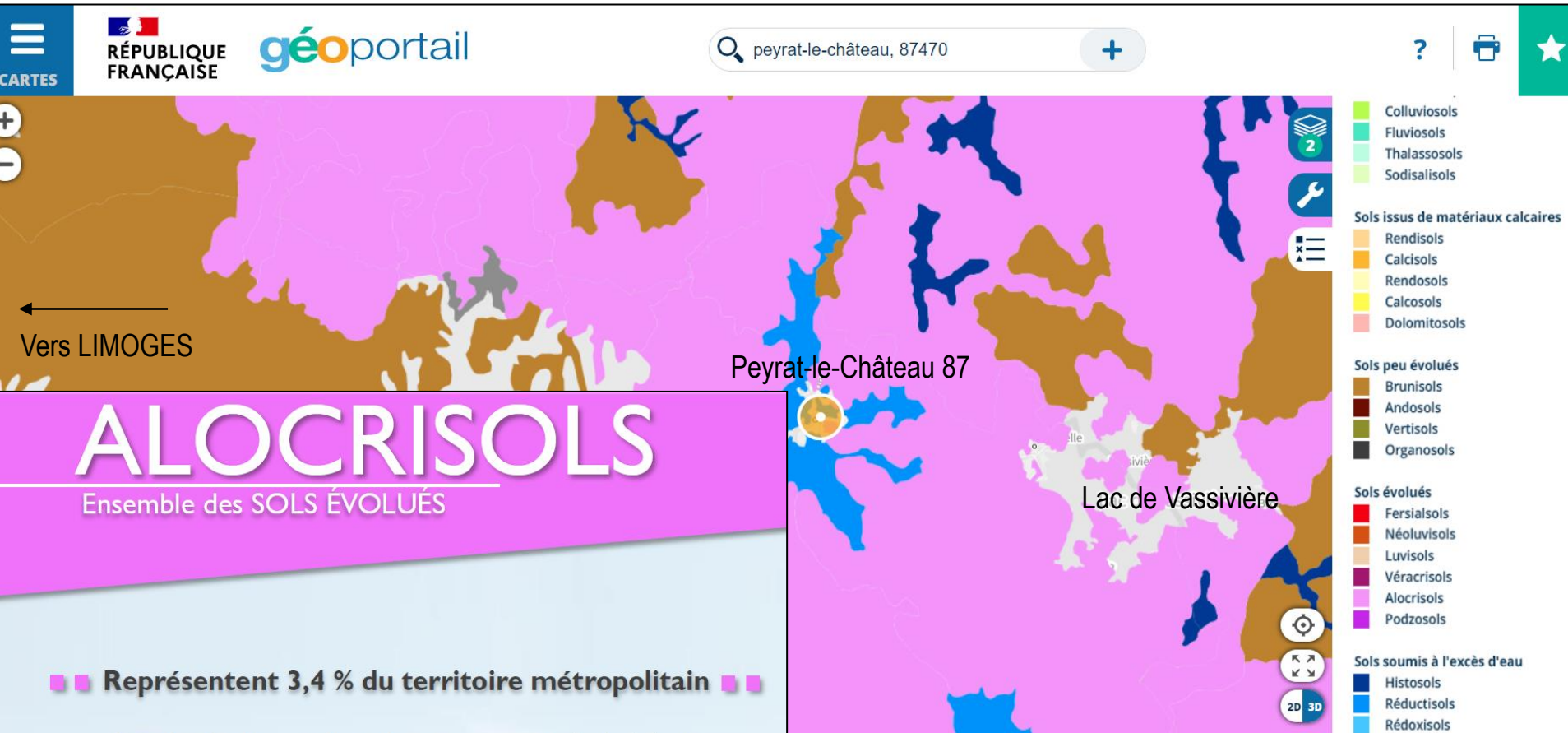
- **640 unités VN/ha sous forme de carbonate**
- N-P-K avec P = 140 unités P₂O₅/ha

→ 2^{ème} série d'analyses Fin novembre 2022
analyses de sol avec Eurofins GALYS

Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)



Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)



Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)

Comparaison pour 2 analyses prélevées sur le même traitement

● Prélèvement fin février 2022 :

pH eau	5,56
pH KCl acidité de réserve	4,26

CEC (meq /kg) (Taille du réservoir à minéraux)	102,59
Saturation (%)	25,54

Matières organiques (g/Kg)	58,82
Azote N organique (g/Kg)	2,67
C/N (Corg / N org)	12,81

● Prélèvement fin novembre 2022 après chaulage :

pH eau ☉	5.1
pH Kcl ☉	4.3

RÉSULTATS	CEC ☉ moyenne	135.9 meq/Kg
	Saturation de la CEC	5 %

A.S. RISQUE TRÈS ÉLEVÉ

RÉSULTATS g/kg	Matières Organiques	56.35
	Carbone organique	32.57
RÉSULTAT	Azote total ☉	2.28
	C/N	14.29

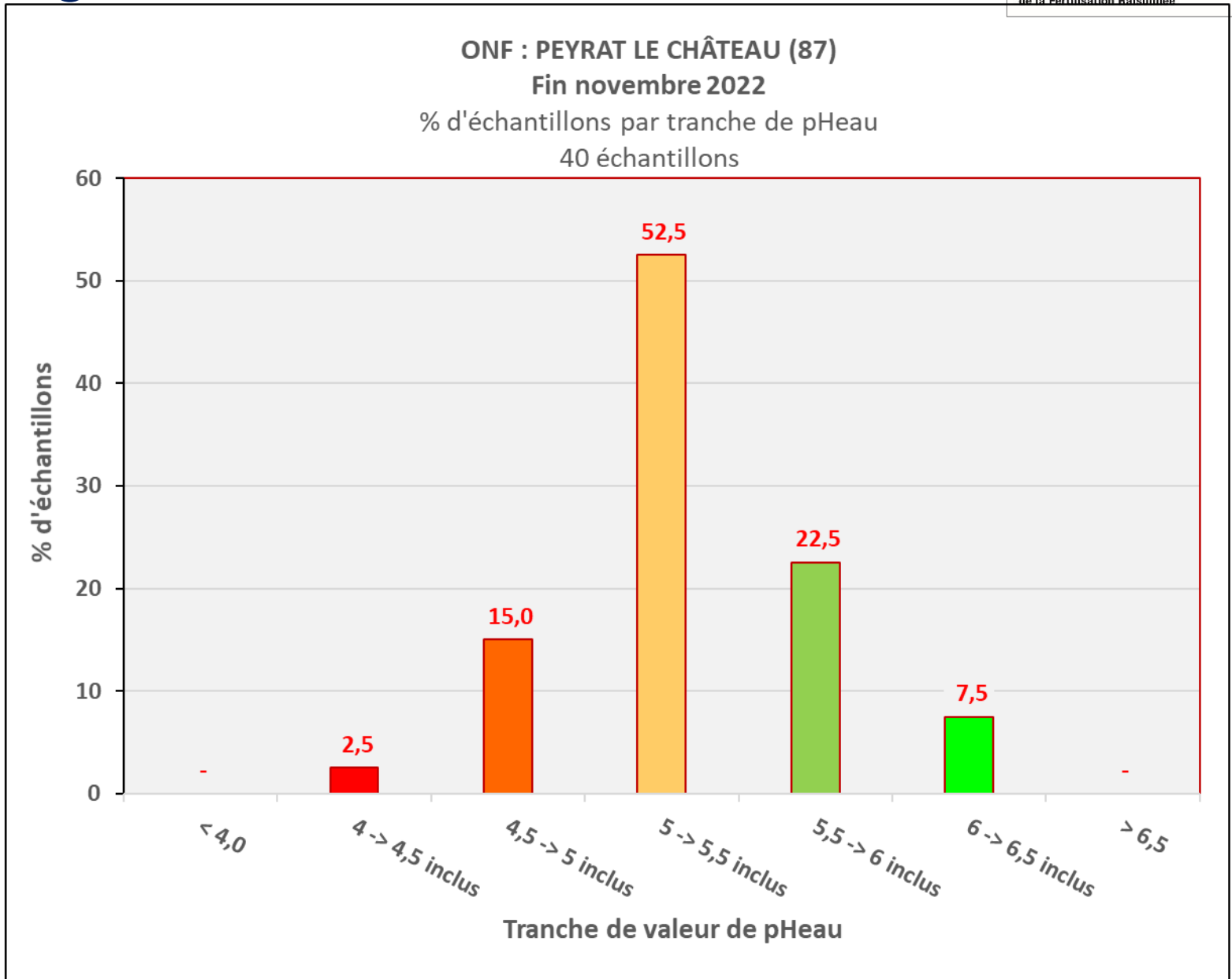
A.S. RISQUE TRÈS ÉLEVÉ

Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)

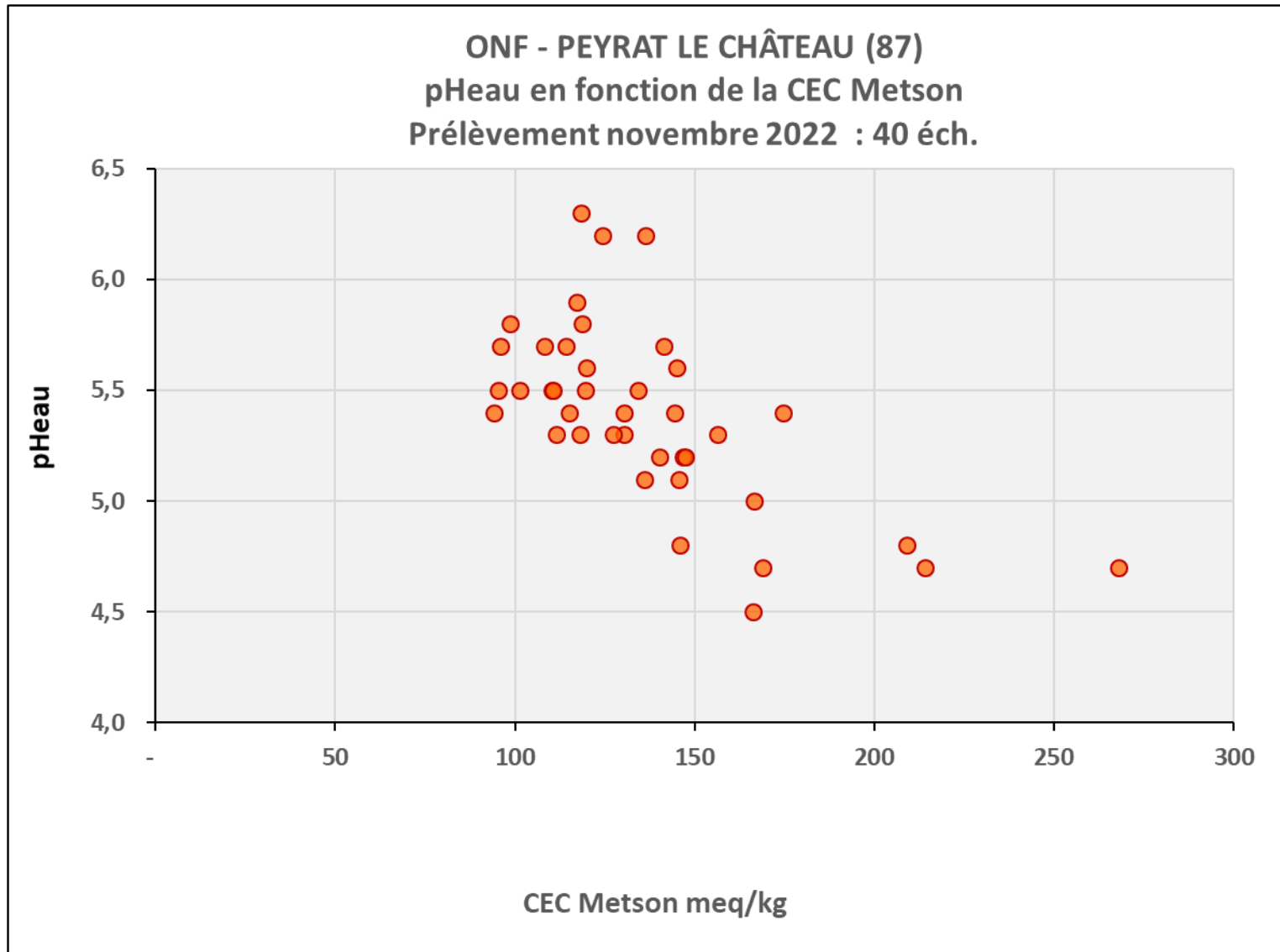
La comparaison des analyses avant et après chaulage ne fait pas apparaître d'augmentation de pH.

**L'ONF dit observer des meilleures croissances des jeunes Douglas sur les traitements chaulés.
Mais est-ce un effet chaulage ou un essai fertilisation ?**

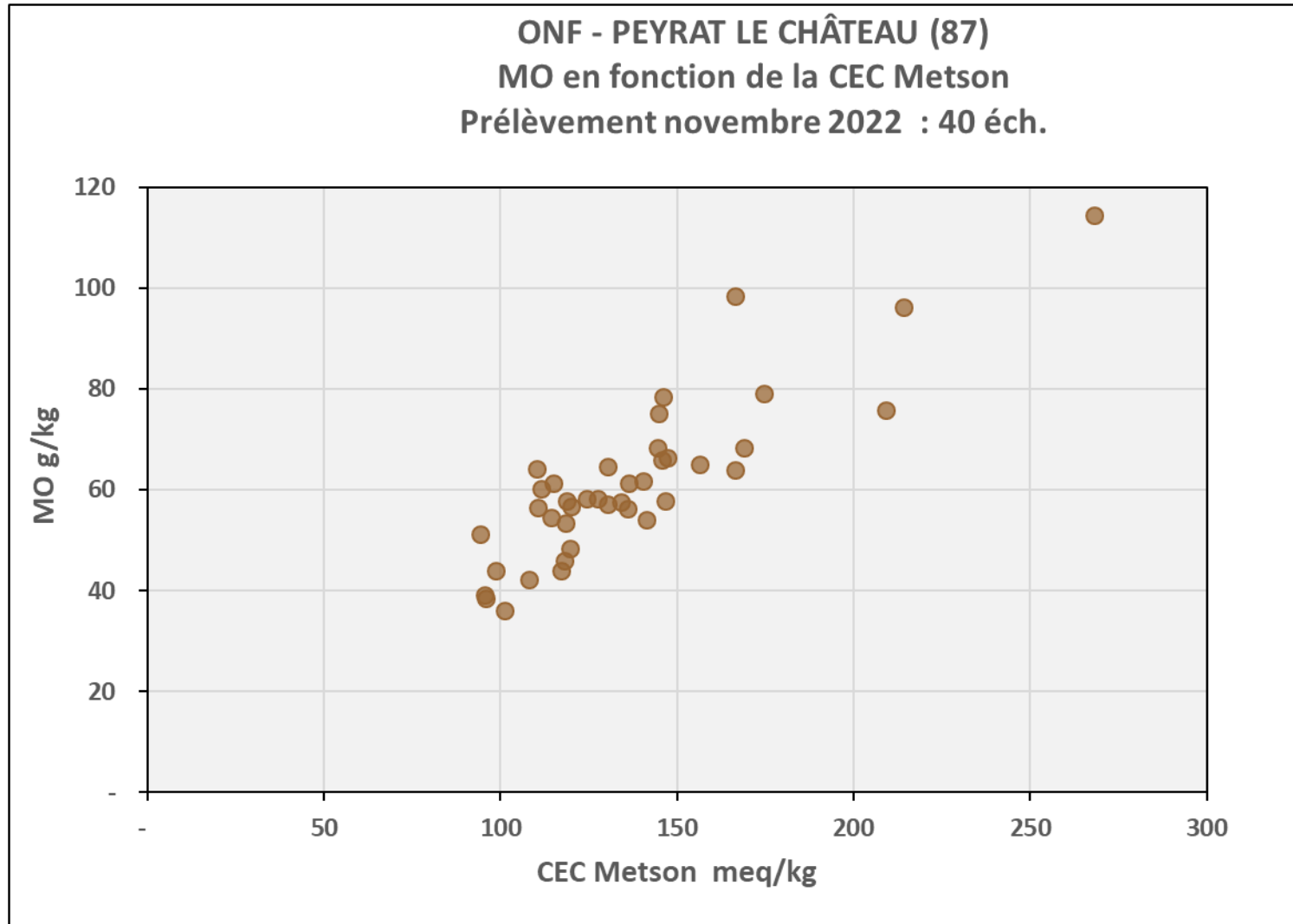
Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)



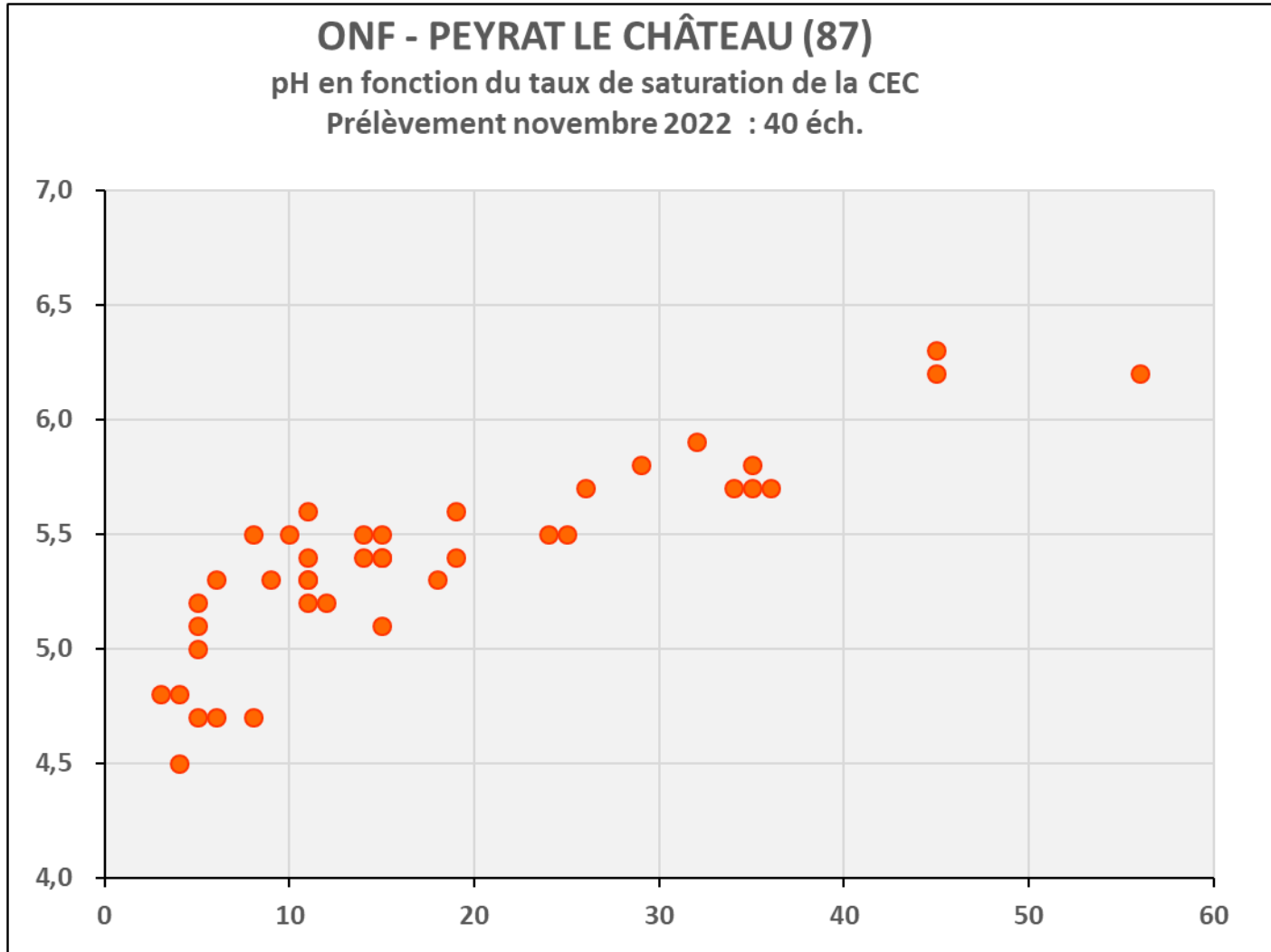
Chaulage en sol très acide (pHeau < 5,5)



Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)



Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)



Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)

- **En sol à pH < 5,5, prise en compte des quantités de Valeur Neutralisante(VN)/ha nécessaires pour neutraliser l'aluminium échangeable :**

Dans le conseil chaulage donné en unités Valeur Neutralisante(VN)/ha, le conseil n'intègre pas dans la plupart des cas les unités VN nécessaires pour neutraliser l'aluminium échangeable.

Deux raisons à cela :

L'aluminium échangeable est rarement dosé dans les menus analytiques classiques.

Ce problème ne concerne que les sols très acides dont les pH sont < 5,5

Méthode permettant ce calcul de la quantité de VN/ha à rajouter pour neutraliser l'aluminium échangeable s'il se trouve en forte concentration.

Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)

Calcul des quantités de Valeur Neutralisante nécessaire pour neutraliser l'Aluminium échangeable en situation de sol acide, pH < 5,5 et donc avec présence d'Aluminium échangeable :

- **Pour rappel** : la VN d'un produit, en particulier d'un amendement basique, s'exprime par la masse (en kg) d'oxyde de calcium (CaO) qui a la même capacité de neutralisation que 100 kg du produit.

On la mesure par action d'un acide fort (HCl).

● Neutralisation de l'Aluminium échangeable :

→ Exemple fictif de calcul :

Le seuil de toxicité de l'Aluminium échangeable est autour de 50 mg d'Al éch./kg

Imaginons que l'on veuille passer de 150 mg/kg à 50 mg/kg d'aluminium échangeable :

Il faut donc neutraliser 100 mg d'Al éch./kg de terre.

Masse molaire de l'Aluminium = 27 g

Pour « détruire » 100 mg d'Al³⁺ échangeable, soit $100 / 27 = 3,7$ millimoles d'Al³⁺/kg,

On compte 3 charges + par millimole d'Aluminium échangeable.

Ce qui fait $3,7 * 3 = 11,11$ millimoles de charge positive/kg.

Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)

Suite calcul : Ce qui fait $3,7 \times 3 = 11,11$ millimoles de charge positive/kg.

Chacune nécessitant 1 millimole HO^- /kg pour être neutralisée.

Or 1 mole CaO, apporte 2 moles HO^- ,

Ou 1 millimole CaO apporte 2 millimoles HO^- .

Il faut donc $11,11 / 2 = 5,555$ millimoles CaO /kg soit :

Masse molaire de CaO :

Ca = 40 g / O = 16 g \rightarrow CaO = 56 g

$5,555 \times 56 = 311,08$ mg CaO/kg de terre.

- Passage du kg à l'hectare :

C'est pour 1 kg de terre, il faut faire le calcul pour 1 ha.

Classiquement, un sol travaillé sur 20 cm.

La neutralisation de l'aluminium échangeable est envisagée sur cette épaisseur de sol :

Volume de terre hectare : $10\,000 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} = 2000 \text{ m}^3$

Une densité moyenne de sol de 1,5 : masse de terre en t/ha = $2000 \times 1,5 = \mathbf{3000 \text{ t de terre/ha}}$

Pour neutraliser 100 mg Al éch./kg il faut 311,08 mg CaO/kg de terre.

Soit 311,08 g CaO/1000 kg de terre = 311,08 g CaO/t de terre

Soit 311,08 kg CaO/1000 t de terre.

Soit $3 \times (311,08 \text{ kg CaO}) / 3000 \text{ t de terre} = 933 \text{ kg CaO/ha}$

\rightarrow Pour passer de 150 mg d'Al éch./ha à 50 mg d'Al éch./ha il faut 933 unités VN/ha

Chaulage en sol très acide (pHeau <5,5)

Conclusion :

Le Douglas est une essence qui se plait dans les sols légèrement acides.

Dans le cas de ces plantations de Douglas, il convient donc de chauler modérément de façon à rester dans des plages de pH un peu acide.

Mais néanmoins en sol trop acide l'aluminium échangeable risque d'être un frein à leur croissance.

Le chaulage réalisé correspond à une dose modique (640 u VN/ha).

Cette dose a permis de neutraliser une partie de l'aluminium échangeable, ce qui a eu un effet favorable sur la croissance des jeunes arbres.

Par contre le pHeau du sol lui n'a pas augmenté.