

Nouveau système intelligent de Diagnostic de l'Acidité, de la Qualité des Amendements et de Recommandation d'Application calcique (DAQARA)

Lotfi Khiari

21 février 2025

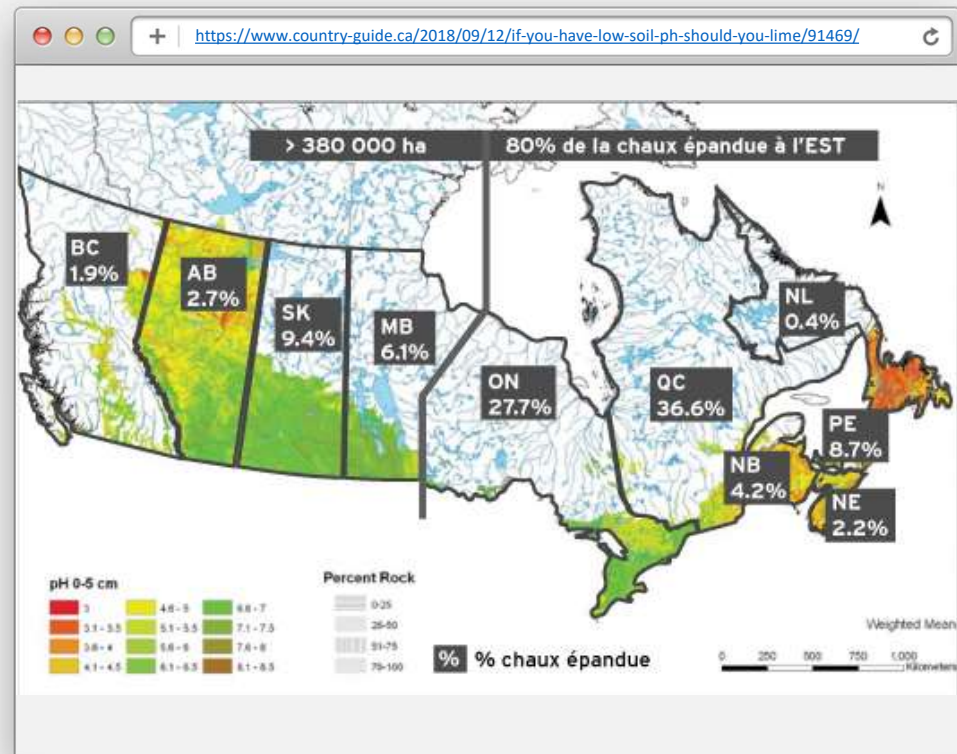


Faculté des sciences
de l'agriculture et de
l'alimentation



UNIVERSITÉ
LAVAL

Répartition de la chaux sur les terres au Canada



DAQARA

DA

Diagnostic de l'acidité

QA

Qualité de l'amendement

RA

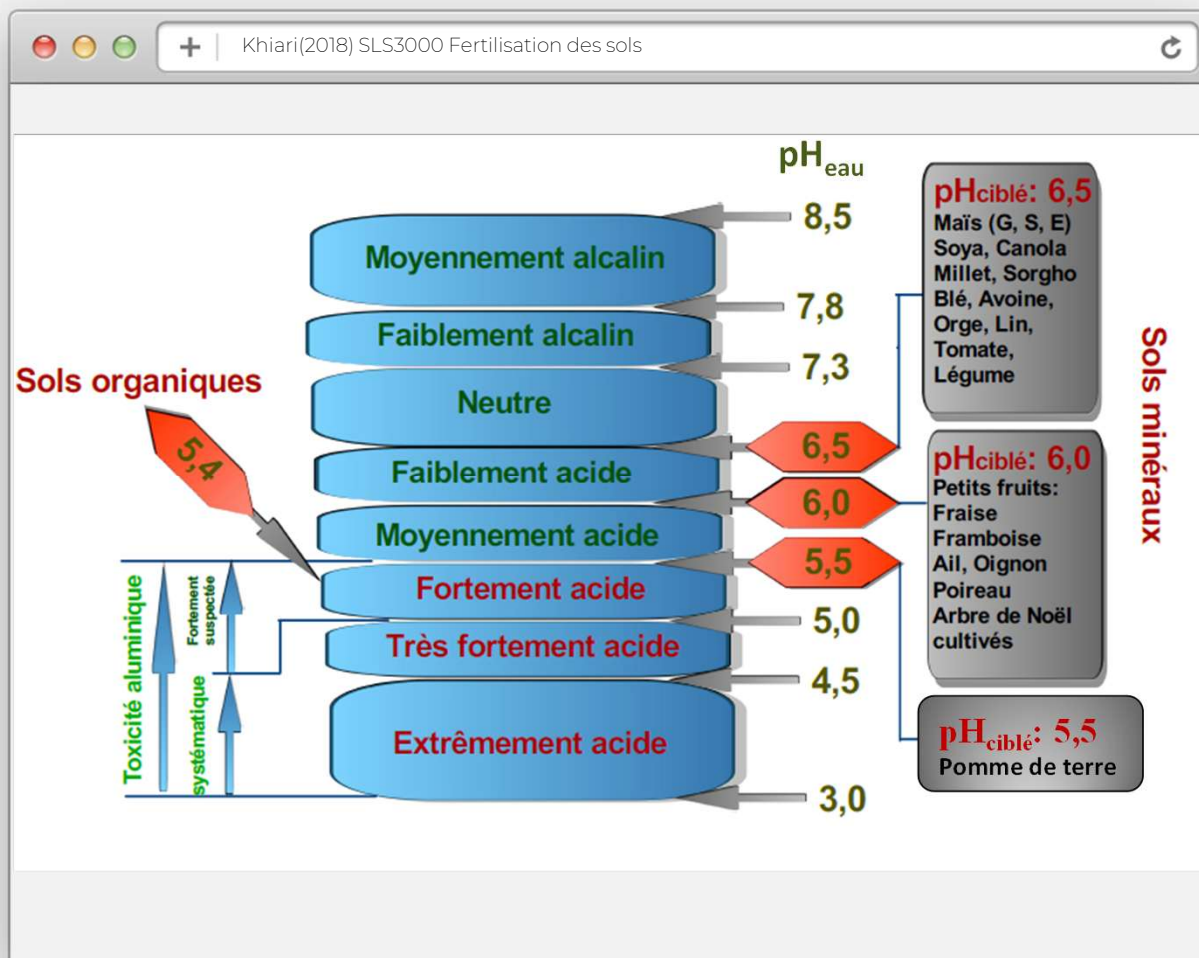
Recommandation d'application

Volet 1: Diagnostic de l'acidité



DA

Système actuel



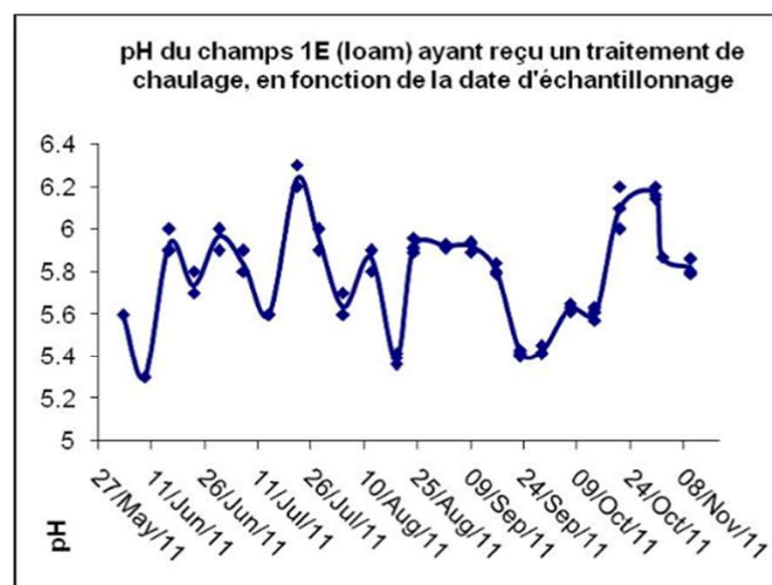
Systeme actuel trop simpliste



Ampleur de la variation du pH_{eau}



+ Robert(2014)



Louis Robert, agronome, M. Sc.
Conseiller régional en grandes cultures

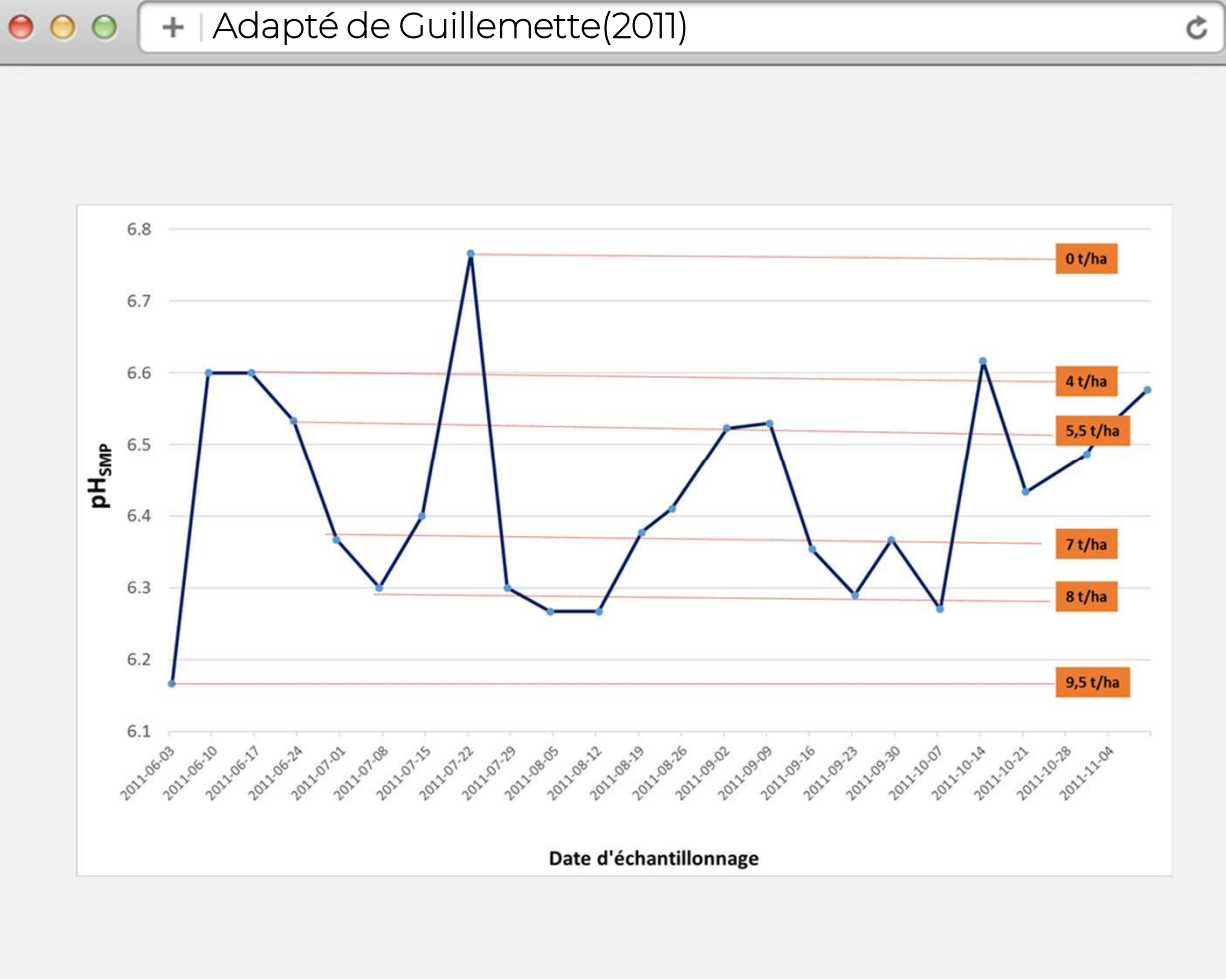
Michigan

0,8 unité pH
(Collins et al., 1970)

France

0,5 (G1); 0,7 (G2) et 1,0 (G3) unité pH
(COMIFER, 2009)

Ampleur de la variation du pH_{SMP}



Fiabilité des indicateurs de l'acidité

GRANDES CULTURES

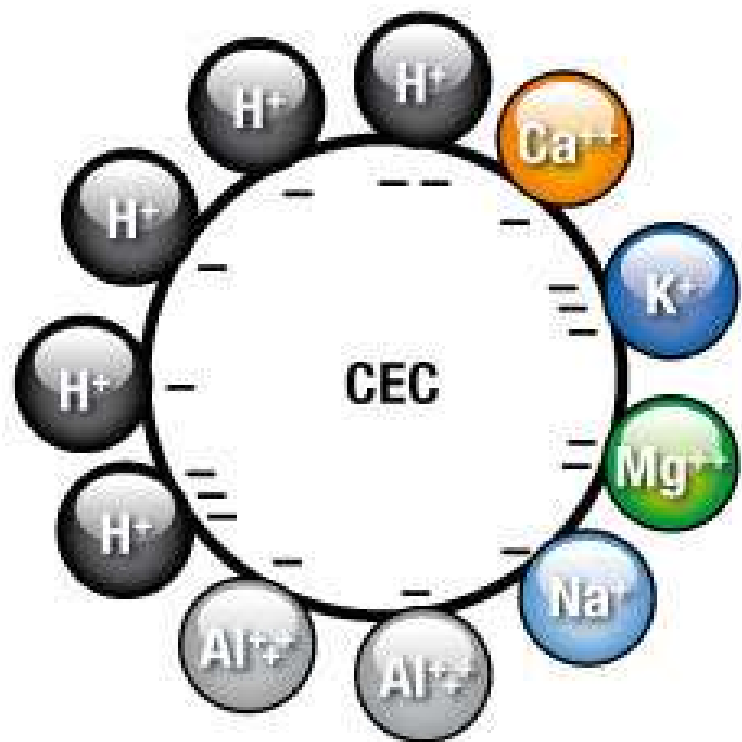
Les résultats d'analyse de sol varient en cours de saison



Louis ROBERT
Agronome, M. Sc.
Conseiller régional en grandes cultures

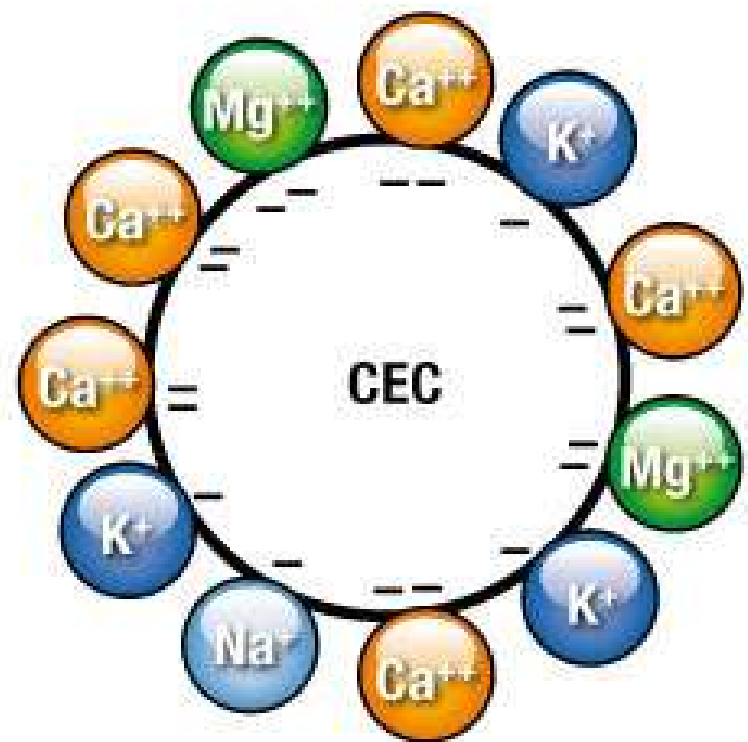
Les résultats d'analyse de sol peuvent varier grandement en cours de saison de culture, même lorsque les prélèvements sont effectués exactement aux mêmes endroits dans un champ. De plus, les variations pour un élément donné, que ce soit le pH, le phosphore ou le potassium, ne

LES RÉSULTATS, PAR ÉLÉMENT
Le pH de l'eau
Le pH de l'eau du site de Saint-Lambert était, au départ, de 5,4. À la fin septembre, il a varié de 5,2, son minimum, à 5,8 en novembre, et ce, sans patron identifiable en fonction du temps. L'ajout de chaux a semblé créer une variabilité plus prononcée encore, mais qui n'était pas plus prédictible. Le 3 juin, le pH était à 5,6, la semaine suivante il s'élevait à 5,3, le 26 juillet à 6,2 et, finalement, le 24 septembre à 5,4. Même sans la chaux, le pH de l'eau de la fin de la saison était plus élevé qu'en début de la saison, et ce, peu importe le site (d'environ 0,4 unité).



Sol acide

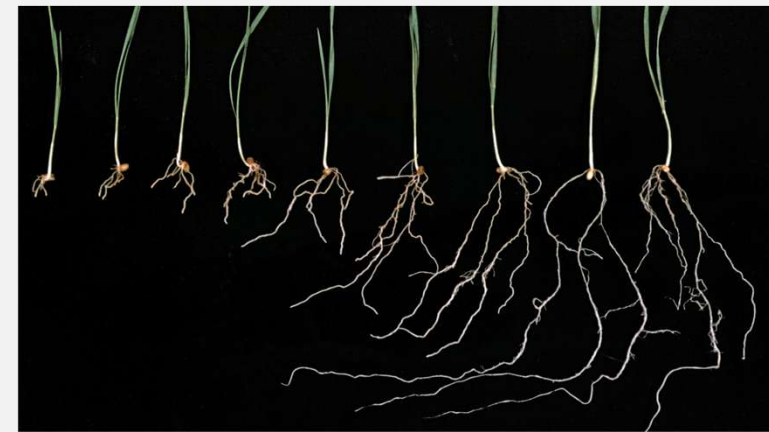
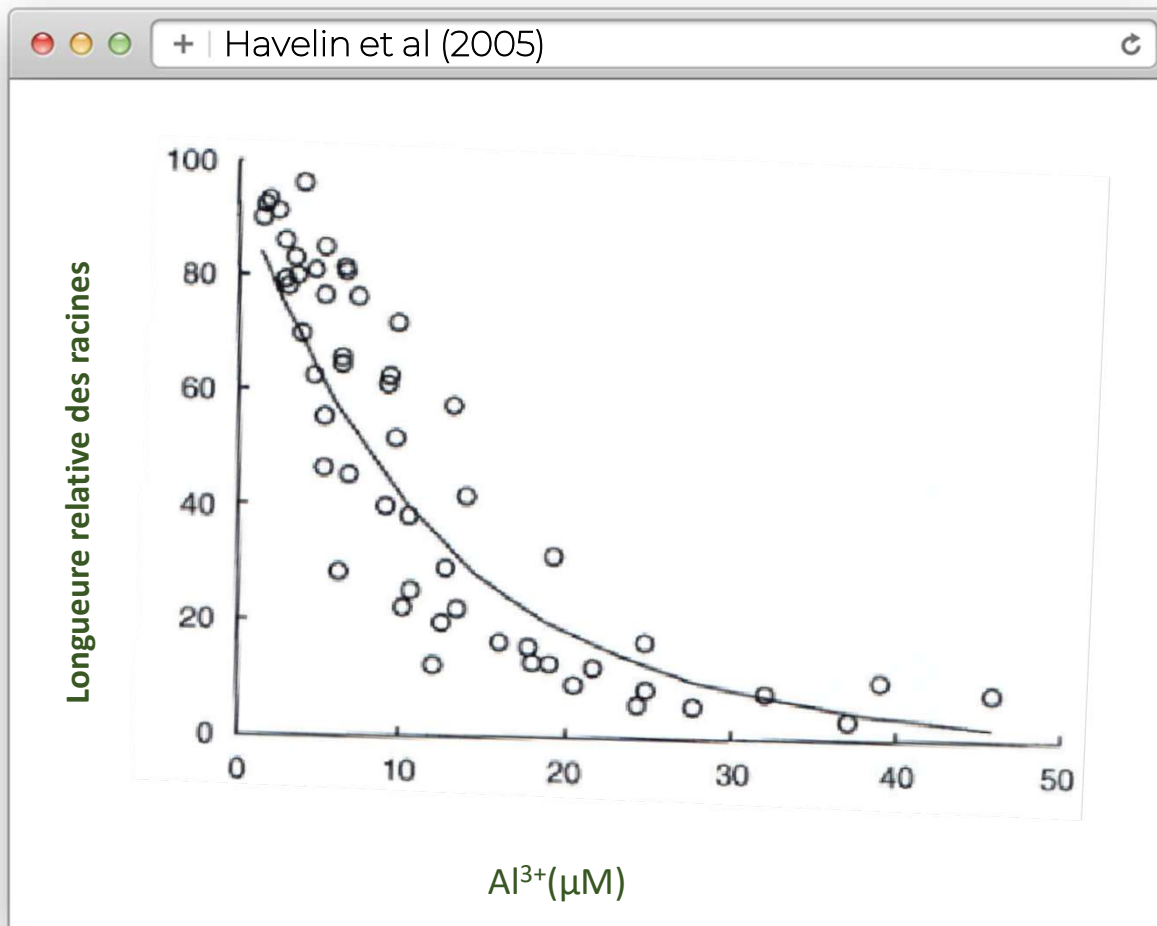
chaulage



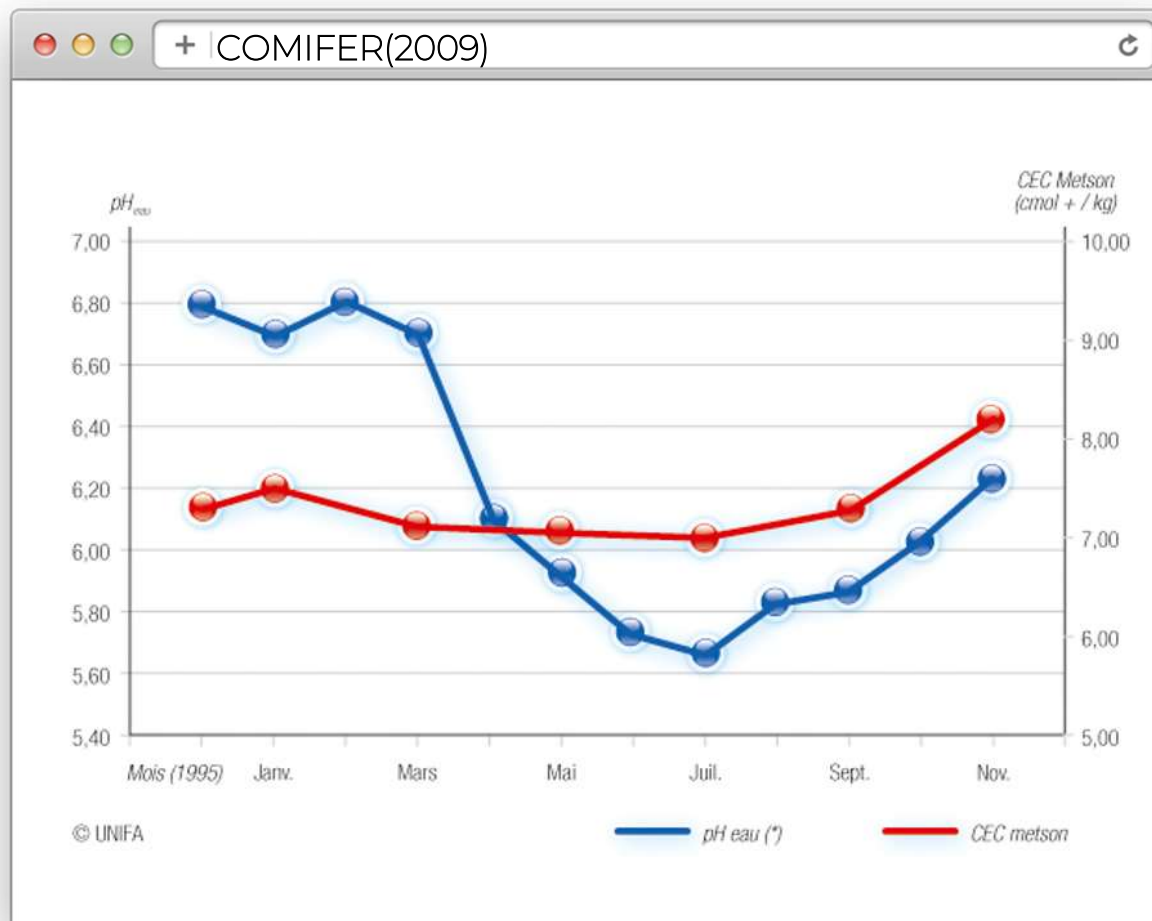
Sol neutre

© UNIFA

Toxicité aluminique



Variabilité des indicateurs de diagnostic



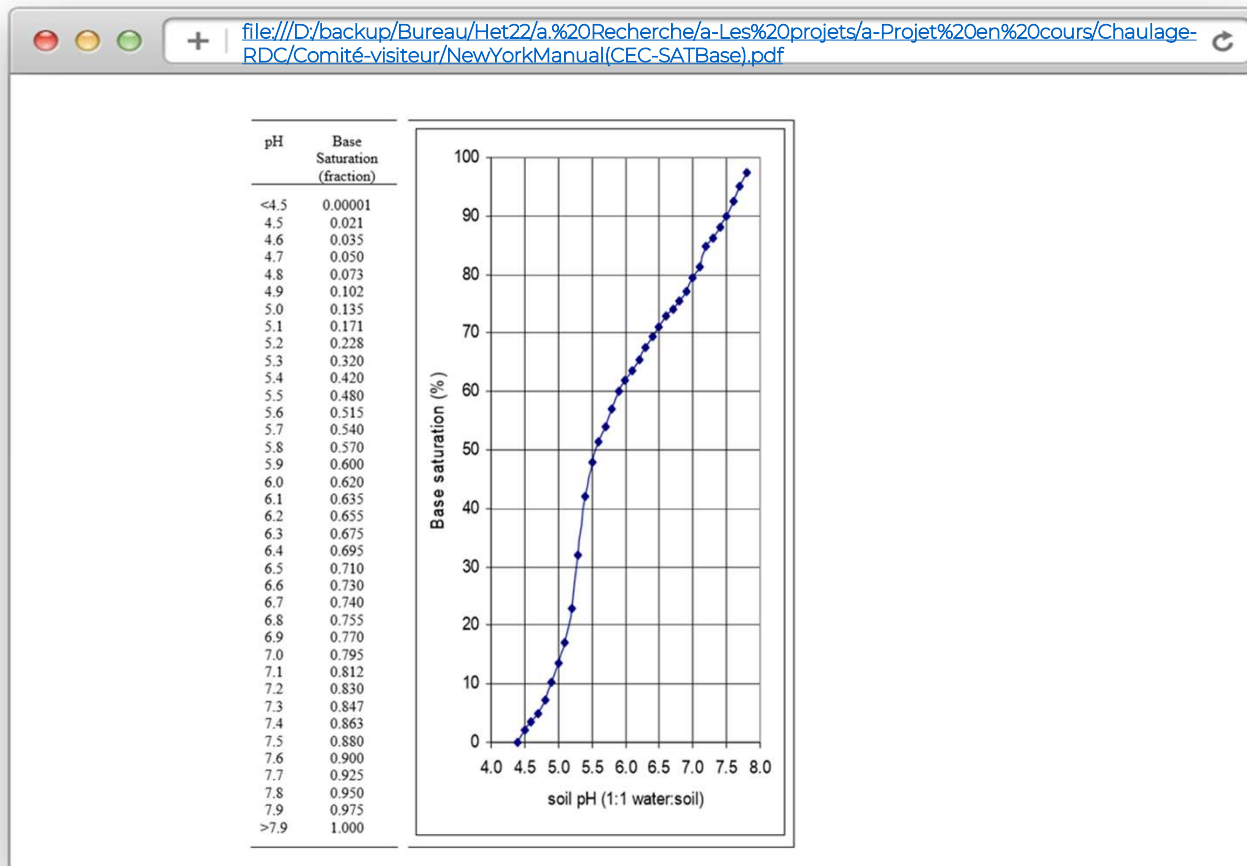
Système de diagnostic australien



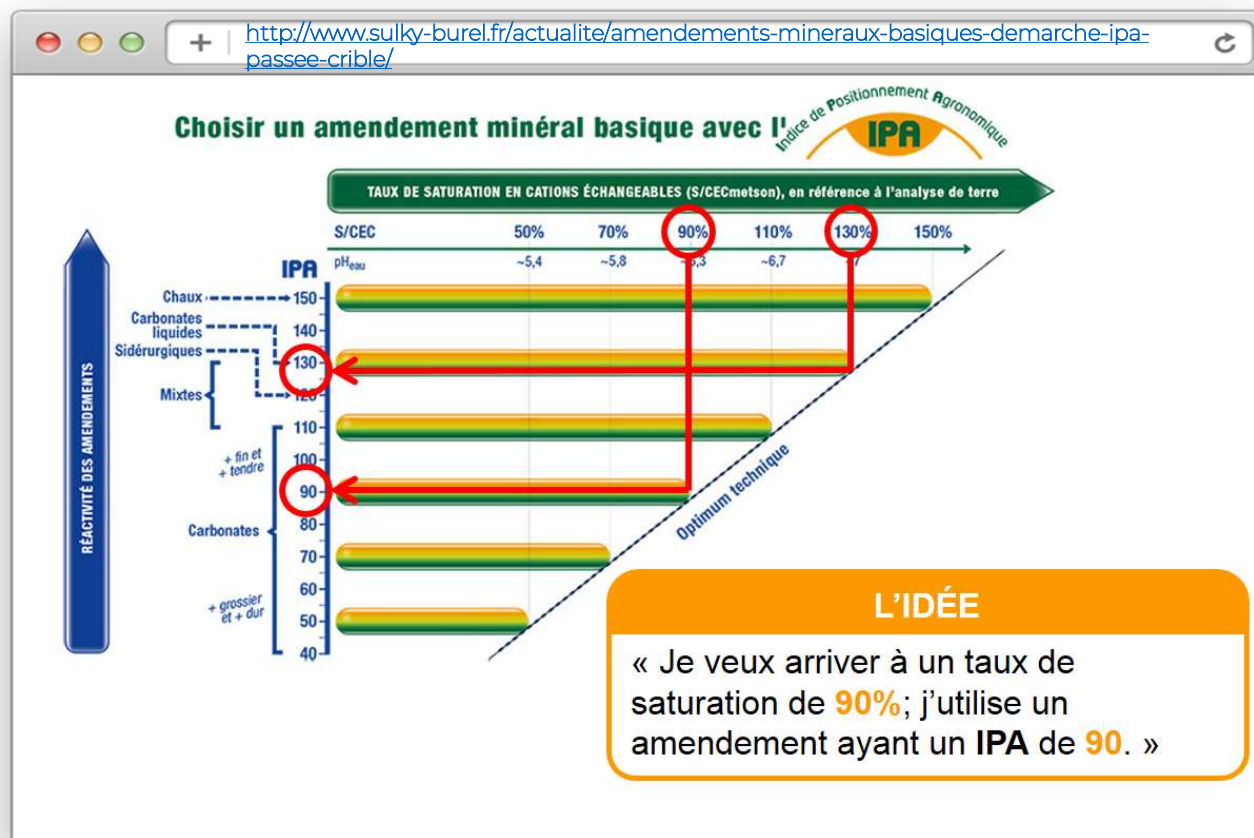
Browser address bar: https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0003/167196/liming.pdf

If the pH (CaCl ₂) for your soil is:	and Al _{ex} is:	then:
Greater than 5.4	0—5%	There are no problems from soil acidity and there is net movement of the lime effect down in to the soil.
Less than 5.3	0—5%	There is a chance of molybdenum deficiency but check for local advice.
Less than 5.1	0—5%	The effectiveness of rhizobia that inoculate acid sensitive legumes, such as lucerne and faba beans is reduced. Liming will increase the effectiveness of these rhizobia and production of their crops and pastures.
Less than 4.8	greater than 5%	Pastures and crops that are highly sensitive to soil acidity (see table 1) will give an economic response to lime. If pH is less than 4.6 the speed of the nitrification processes will increase with liming regardless of Al _{ex} .
—	greater than 10%	Crops that are sensitive to soil acidity will show an economic response to lime. Sensitive and tolerant pastures will show a response but the economics of this response are marginal.
—	Greater than 15%	Crops that are tolerant will give an economic response to lime. The response of sensitive and tolerant pasture will increase with higher aluminium, but the economic benefits of this response will require close examination.
—	Greater than 20%	Highly tolerant crops and pastures will give a small response.

Système de diagnostic à l'État de New-York



Système de diagnostic français



Élargir le système de diagnostic de l'acidité

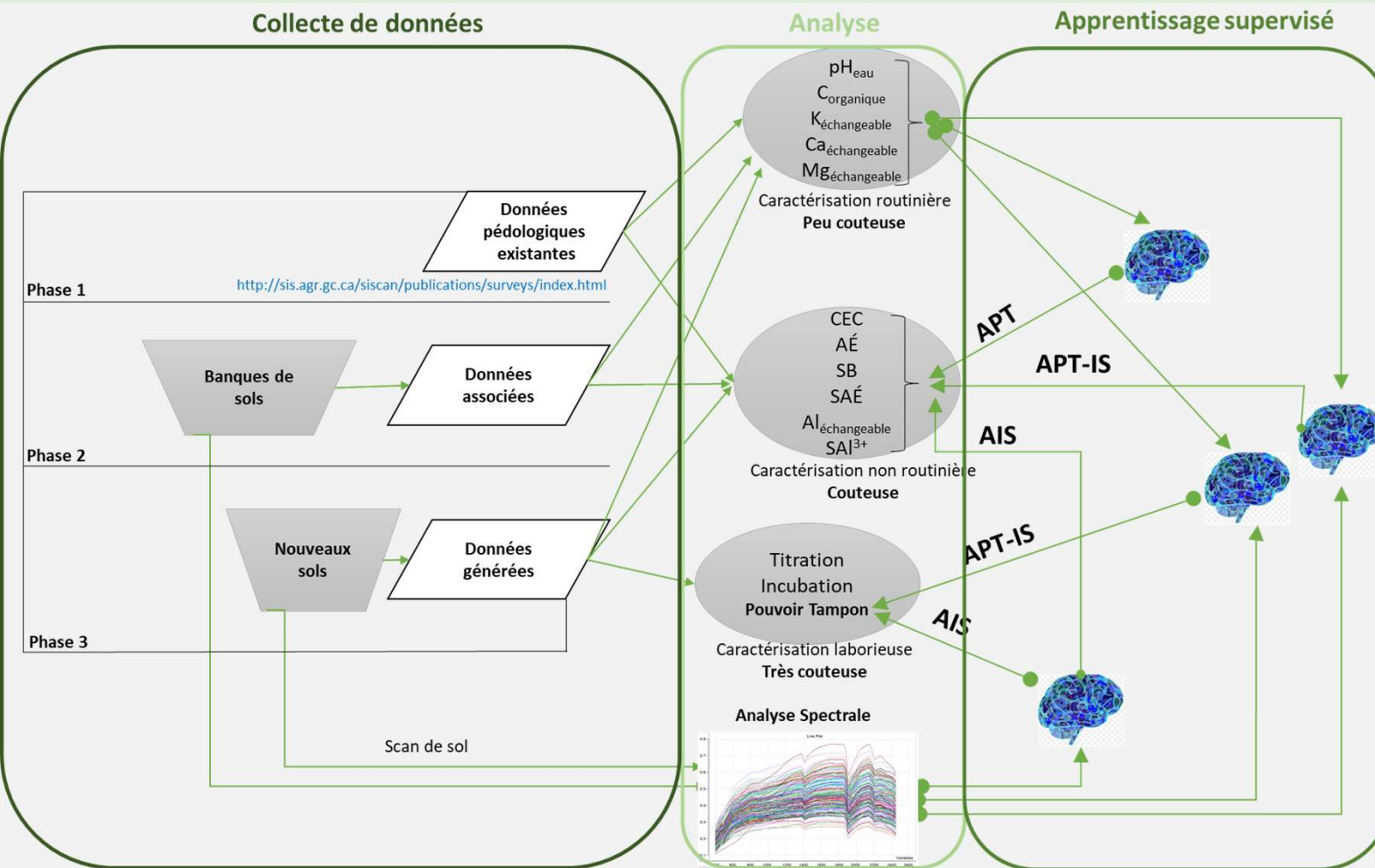


Follett et Follett (1980)

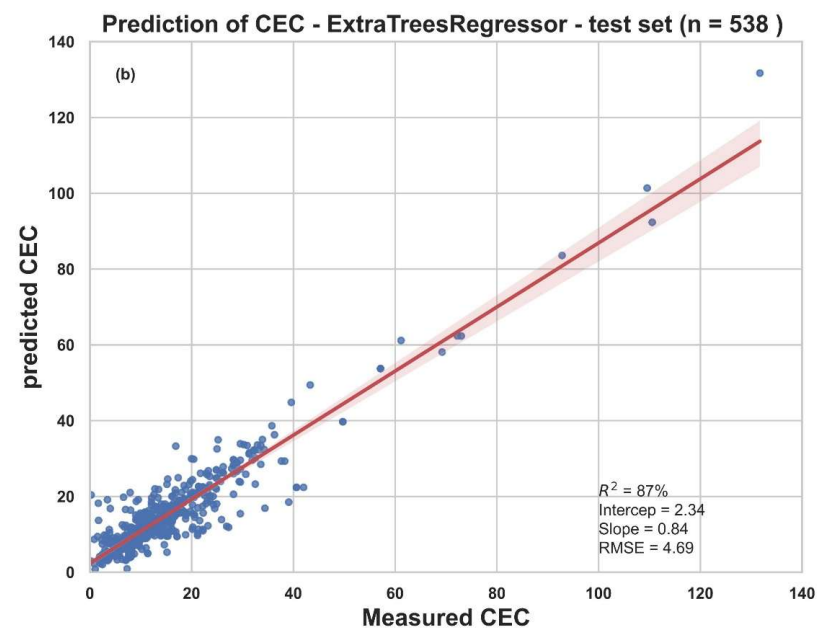
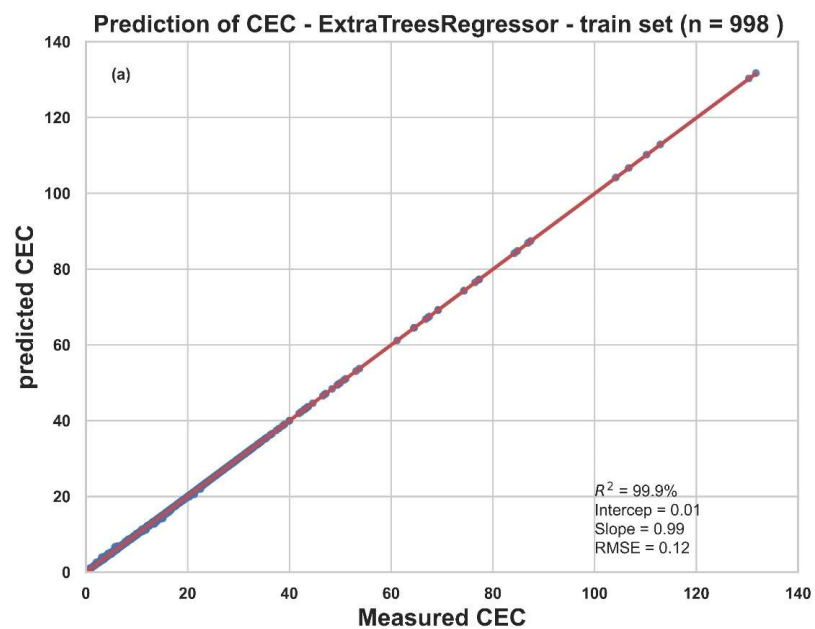
Suggestion: Alimenter le système de DA par d'autres indicateurs:

- Le contenu en matière organique; 20 \$
- Les bases échangeables;
- L'aluminium échangeable;
- La capacité d'échange cationique; $39,4 + 12,2 + 1,5 \approx 53 \$$
- La saturation en bases;
- La texture du sol; $23,80 + 16 \approx 40 \$$
- Le type d'argile.

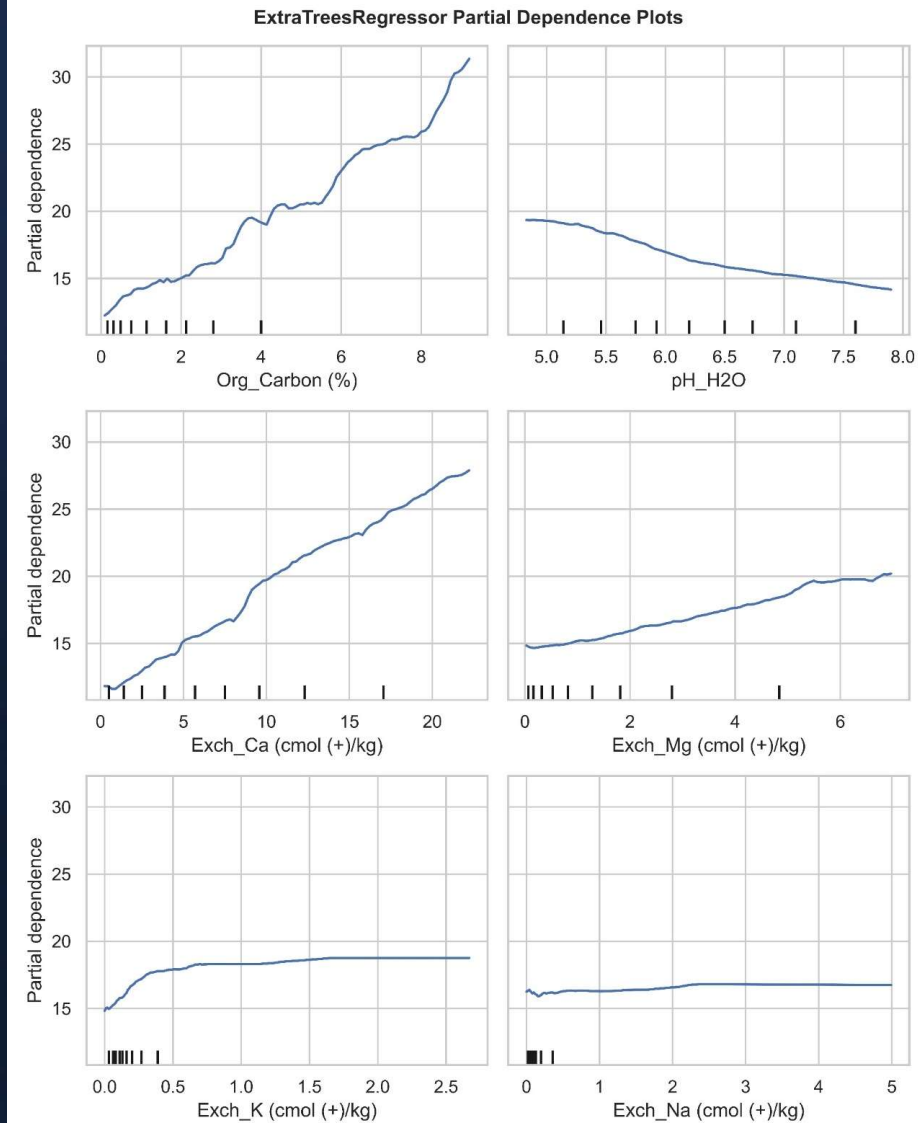
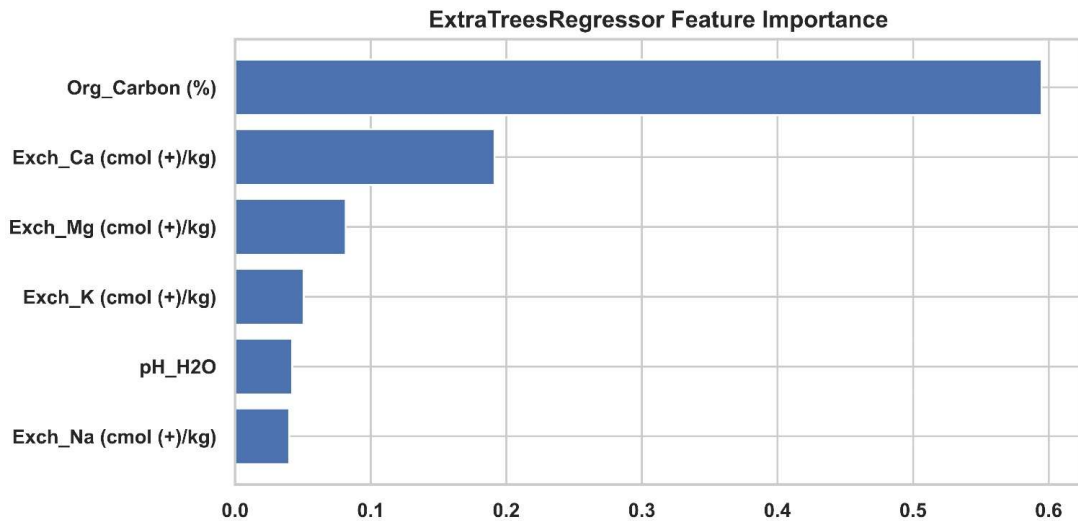
Procédures algorithmiques de pédotransfert et d'interprétation spectrale



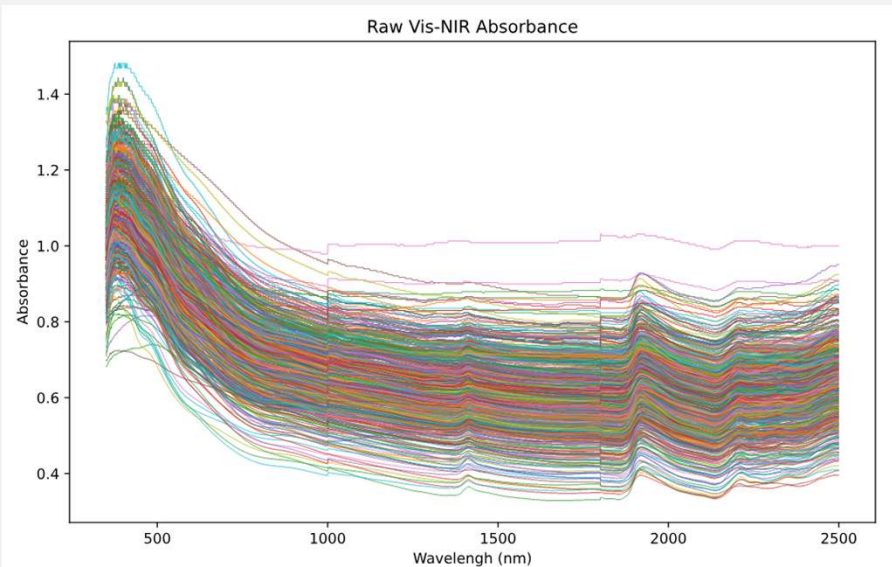
Signature chimique



CEC prédite basée sur pH ,
 $C_{\text{organique}}$ + Ca + Mg + K + Na



Signature Spectrale Vis-NIR



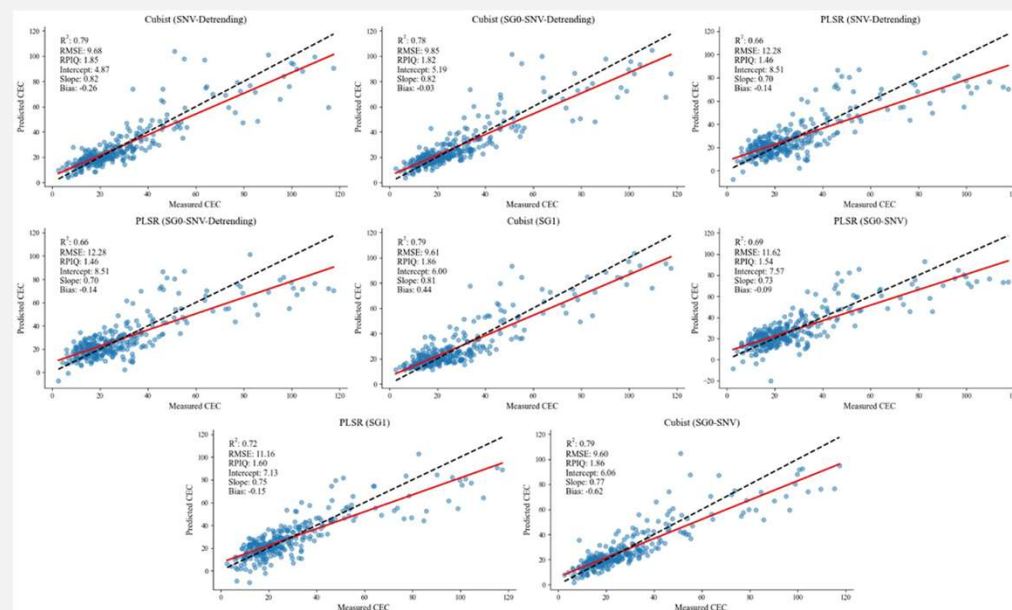
Robustesse: 79%

Exactitude: 77%

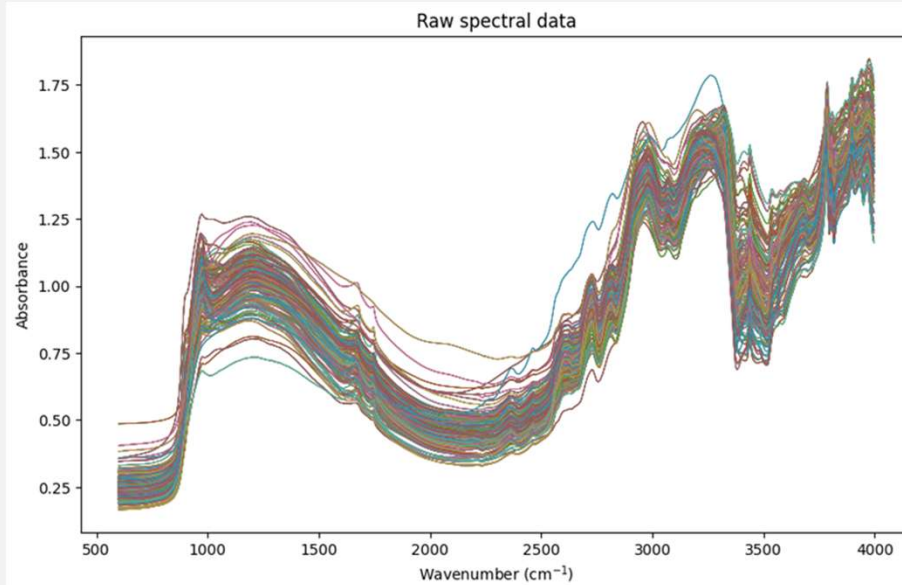
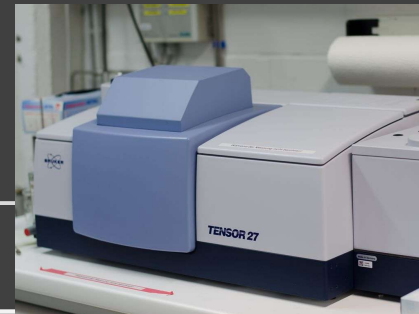
Sensibilité: 6.06 CEC unités

Précision: 1.86

Bias: 0.62

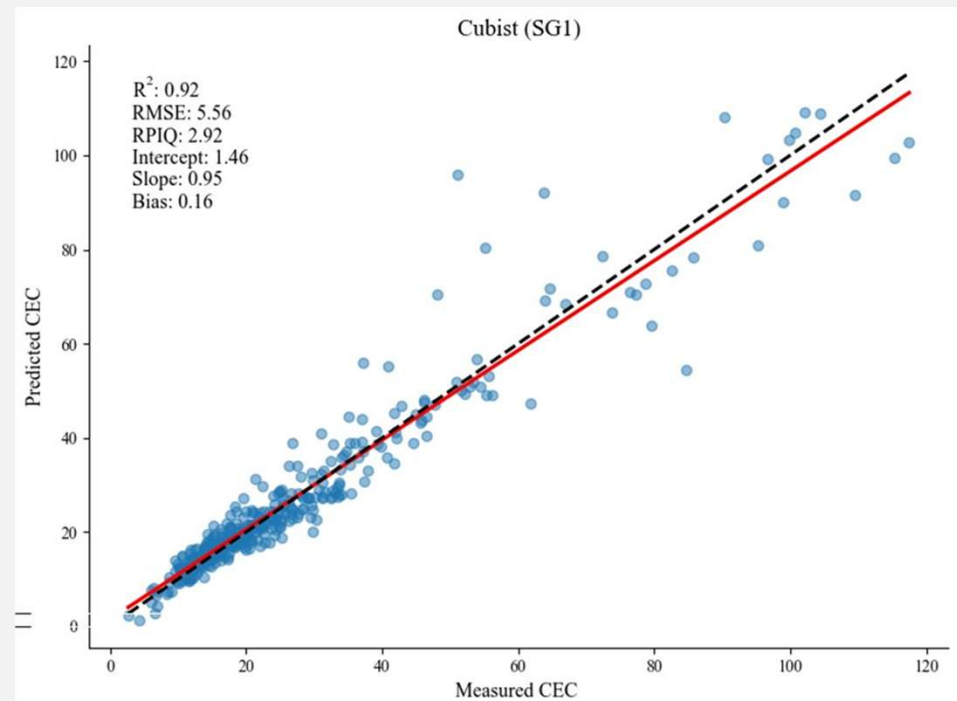


Signature spectrale MIR



Robustesse: 92%
Exactitude: 95%
Sensibilité: 1.46 CEC unités

Précision: 2.92
Biais: 0.16

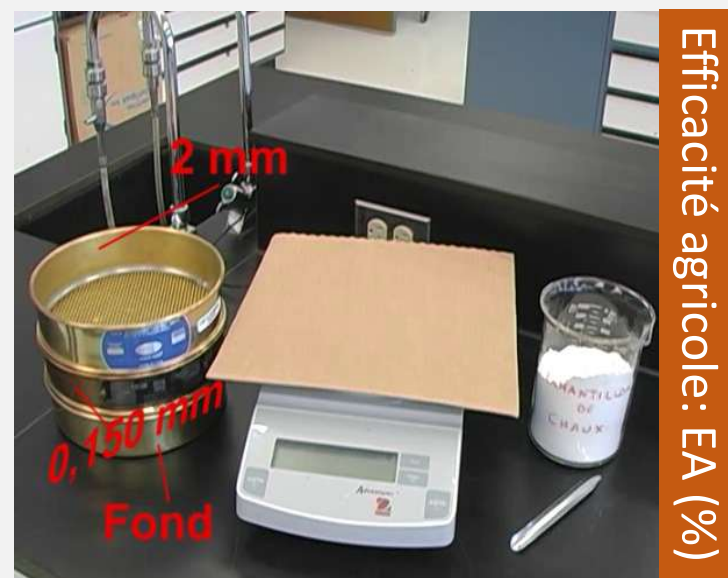


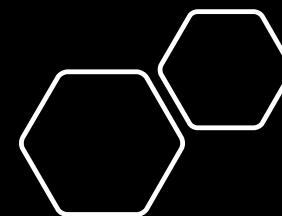
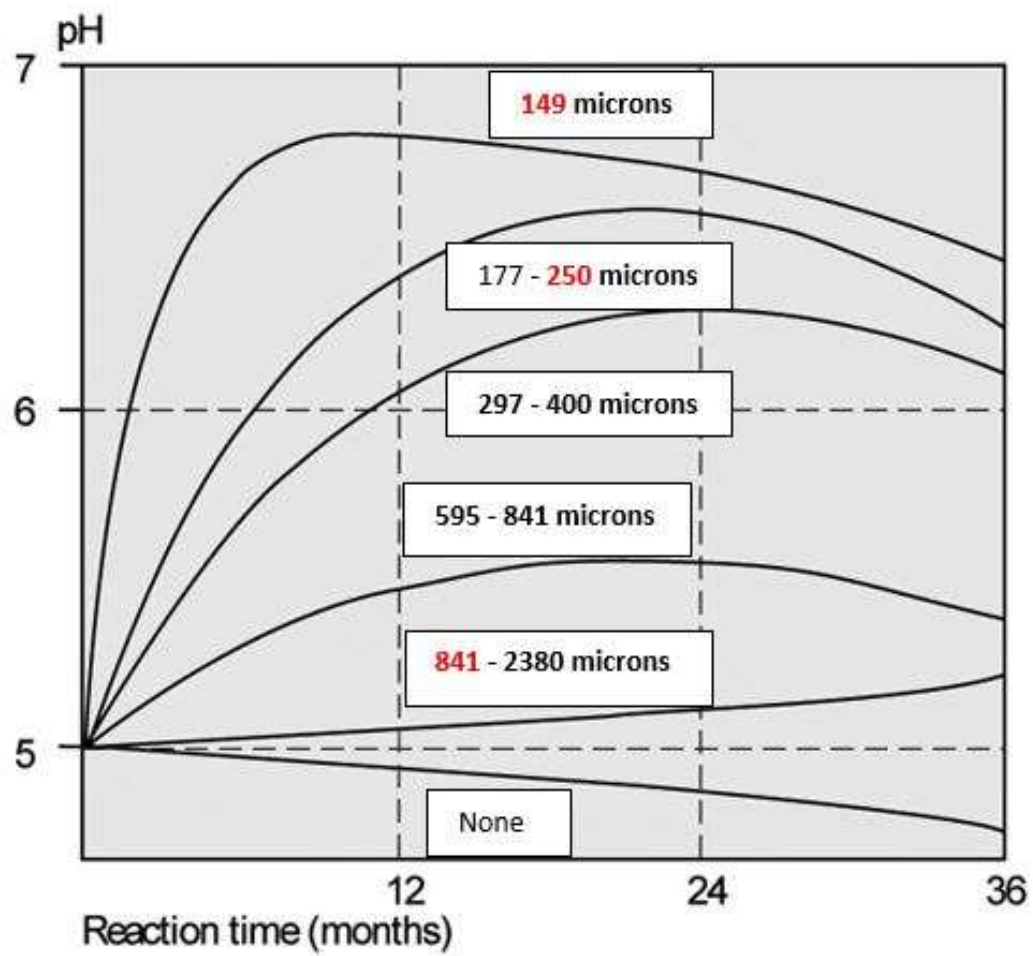
Volet 2: Qualité des amendements



QA

Système actuel de quantification de la qualité des amendements chaulants





Système actuel pour les amendements chaulants



- PN: pouvoir neutralisant ou ECC
- EA: efficacité agricole
- Réactivité ou vitesse de solubilité
- Cations associés (essentiellement Ca, Mg)
- La force alcalinisante
- Diffusion dans le profil cultural
- Carbonates résiduels
- Effet de la granulation pour le chaulage d'entretien
- Compatibilité physique et chimique des chaux granulaires avec les engrais minéraux

Système actuel pour les amendements non chaulants



aucune information
n'est disponible dans
les guides et les
manuels





Tests QA

- Pouvoir neutralisant
- Finesse de mouture
- Réactivité carbonique
- Réactivité thermique
- Force alcaline

Expérimentations de validation

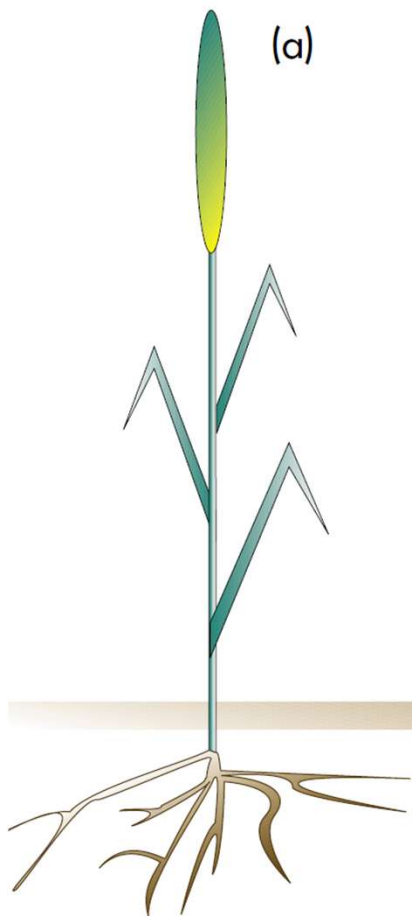
- Cinétique de neutralisation de l'acidité
- Cinétique de neutralisation de l' Al^{3+}
- Diffusivité des amendements
- Résistance et résilience à l'amendement

Amendements chaulants: 3 types			Amendements non chaulants
crus	cuits	Mixtes	

Volet 3: Recommandation d'application

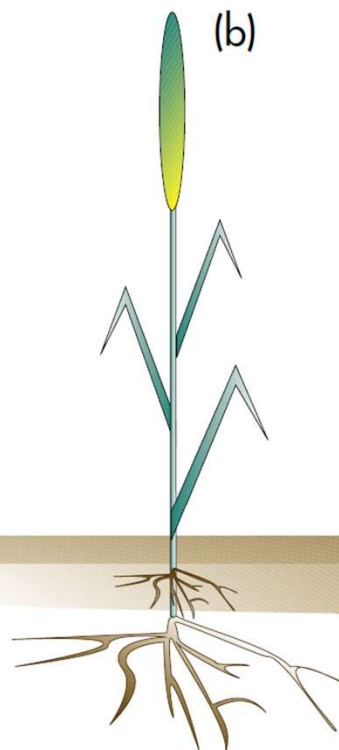


RA



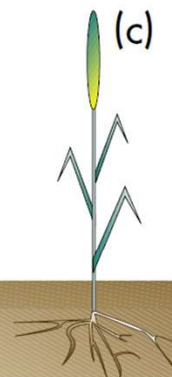
(a)

Pas de problème d'acidité



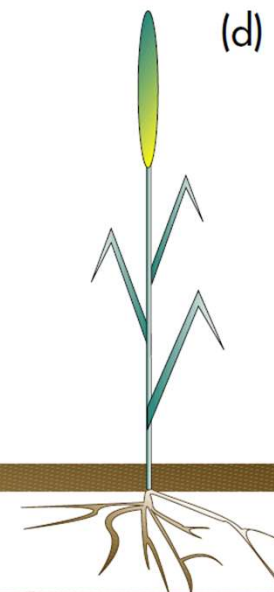
(b)

L'acidification commence à la surface, ce qui limite le développement des racines en surface



(c)

L'alcalinité est lixiviée en profondeur lorsque le pH_{eau} tombe en dessous de 5,0 et que la croissance des racines est entravée.



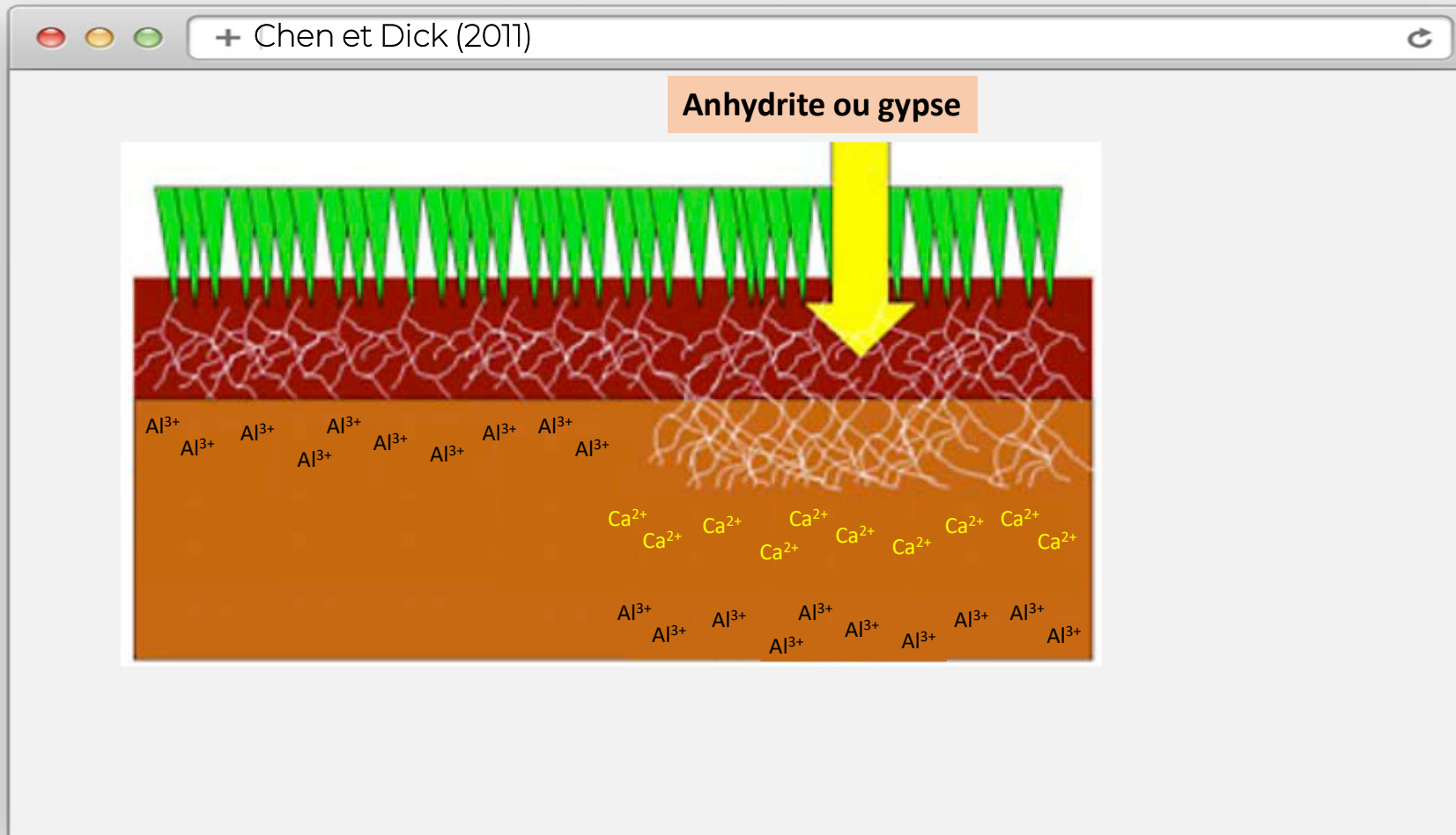
(d)

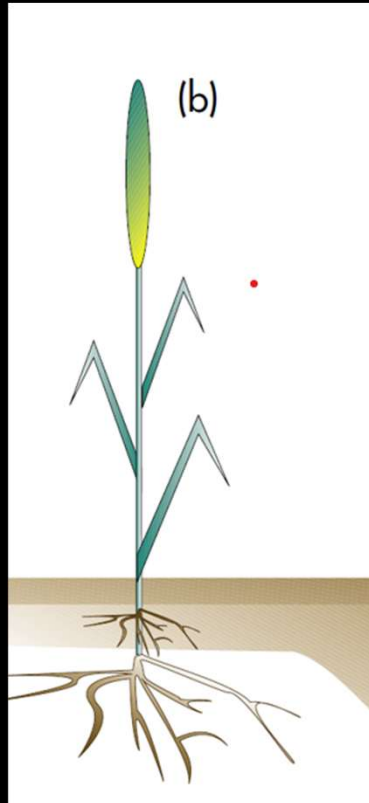
L'acidité en profondeur est permanente car la chaux appliquée en surface ne corrige que l'acidité de du premier horizon de surface.

Acid Soil

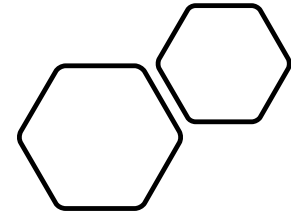
Michel Dignand

Système actuel pour les amendements non chaulants





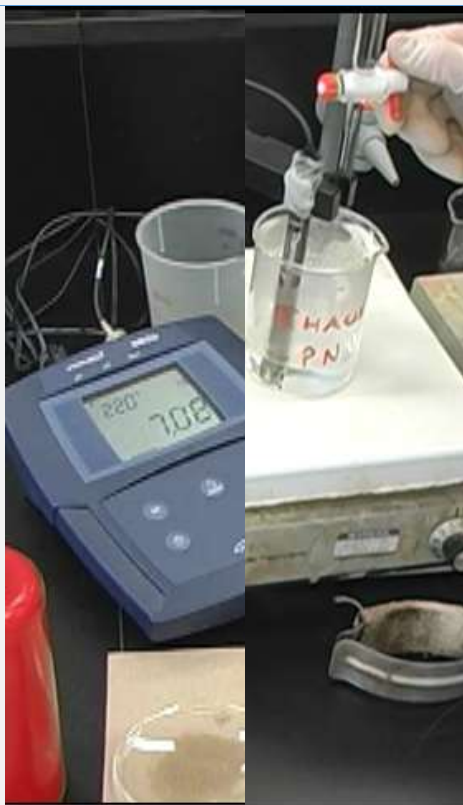
Correction de l'acidité de surface



Expérimentation



Titration



Incubation



Serre



Champ



Tests de titration





Choix des doses pour l'incubation des sols pendant 23 semaines

- Pour chaque intervalle, on détermine 7 doses d'incubation croissantes en t CaCO_3 /ha incluant le témoin:

1. [0-4[:	0.0	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0
2. [4-8[:	0.0	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	10.0
3. [8-12[:	0.0	1.0	3.0	6.0	9.0	12.0	16.0
4. [12-16[:	0.0	1.5	3.0	6.0	9.0	15.0	20.0
5. [16-20[:	0.0	3.0	6.0	9.0	12.0	18.0	26.0
6. [20+ [:	0.0	4.0	8.0	12.0	20.0	28.0	40.0

Dans l'élaboration des 7 doses, on fait en sorte que la dernière dose soit assez élevée afin de nous assurer que tous les échantillons de la classe atteignent le pH cible 7 après la période d'incubation.



Exemples de choix des doses pour l'incubation

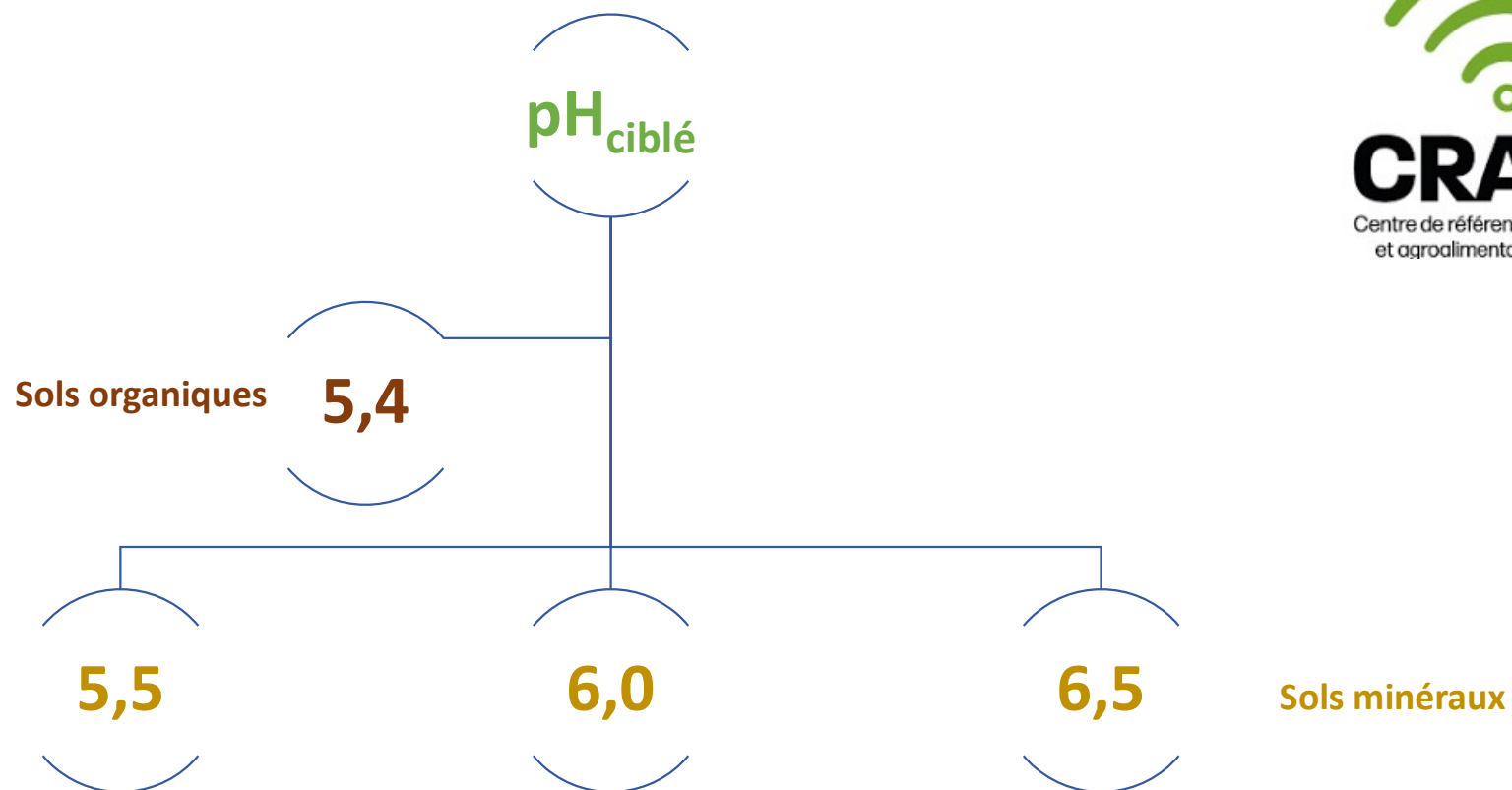
Test de titration t/ha pour atteindre pH 7	Échantillon	dose 1	dose 2	dose 3	dose 4	dose 5	dose 6	dose 7
[4-8]	1	0	0.5	1	2	4	6	10
20 et plus	5	0	4	8	12	20	28	40
[12-16]	6	0	1.5	3	6	9	15	20
0 - 4	13	0	0.25	0.5	1	2	3	6

A photograph showing a large number of white plastic cups arranged in rows. Each cup is filled with a dark, granular substance, likely soil or compost, used for incubation tests. The cups are arranged in a grid-like pattern, filling most of the frame. The text "Tests d'incubation" is overlaid in the center of the image.

Tests d'incubation

Comparaison entre les approches

RA



$\text{pH}_{\text{ciblé}}$

01

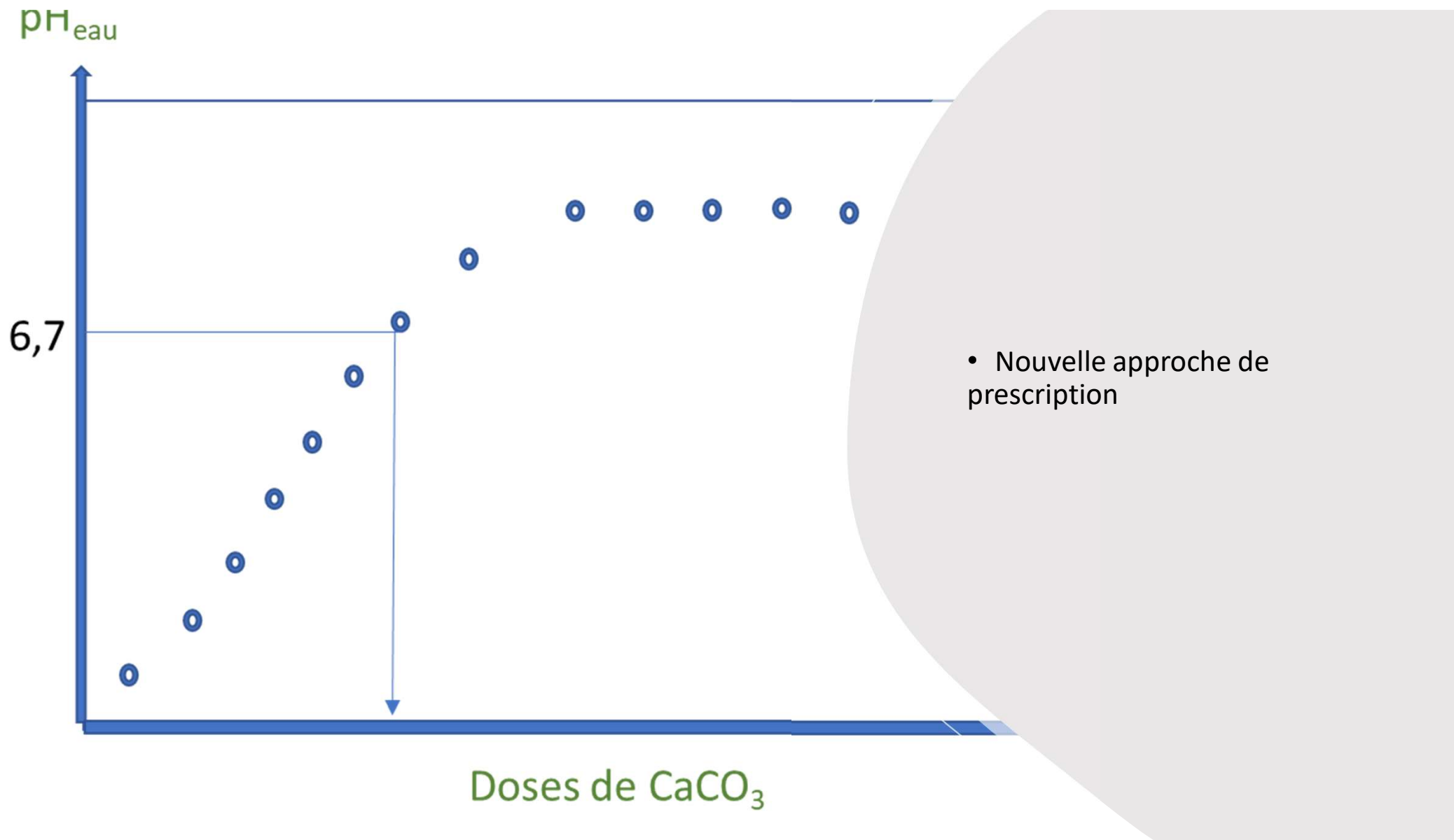
Tableau 3.2 (P148). Besoin en chaux efficace à 100% (100% sec) dans les sols minéraux et organiques

P 91 (CRAAQ, 2010)

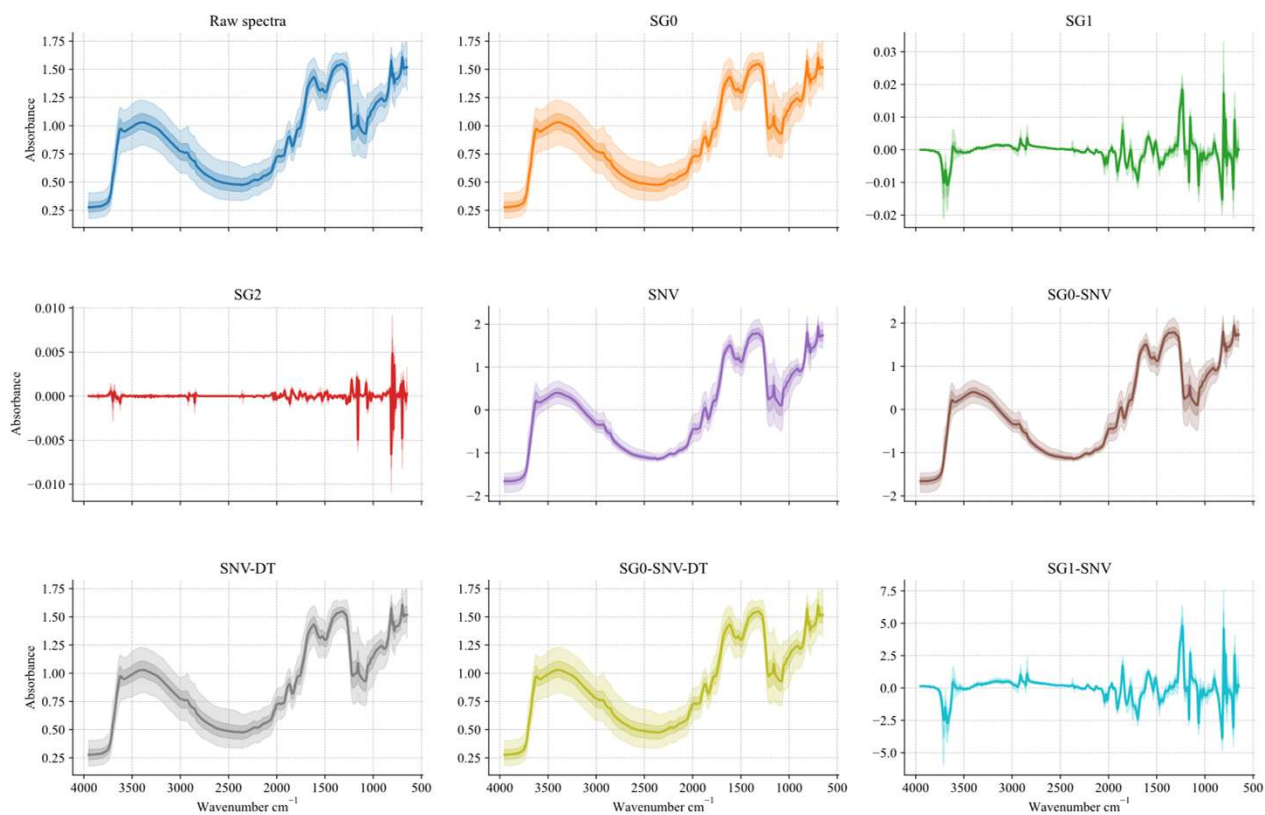
Besoin en chaux (BC)

04_a

pH tampon	Sols minéraux			pH tampon	pH cible de 5,4
	pH cible de 5,5	pH cible de 6,0	pH cible de 6,5		
	Besoin en chaux (t/ha)				Besoin en chaux (t/ha)
6,7	1,1	2,0	2,2	6,1	0,0
6,6	1,3	2,5	3,1	6,0	0,0
6,5	1,5	3,0	4,0	5,9	1,1
6,4	1,9	3,5	4,9	5,8	2,2
6,3	2,3	4,2	5,8	5,7	3,4
6,2	2,8	4,8	6,9	5,6	4,6
6,1	3,4	5,6	7,8	5,5	5,7
6,0	4,1	6,4	9,0	5,4	6,9
5,9	4,9	7,3	10,0	5,3	8,0
5,8	5,8	8,2	11,0	5,2	9,2
5,7	6,8	9,3	12,2	5,1	10,3
5,6	7,8	10,4	13,4	5,0	11,5
5,5	9,0	11,5	14,5	4,9	12,7
5,4	10,2	12,8	15,7	4,8	13,8
5,3	11,6	14,0	16,8	4,7	15,0
5,2	13,0	15,4	17,9	4,6	16,1
5,1	14,5	16,9	19,0	4,5	17,3
5,0	16,1	18,4	20,4	4,4	18,4
4,9	17,8	20,0	21,7	4,3	19,6
4,8	19,6	21,6	23,0	4,2	20,7
				4,1	21,9
				4,0	23,0
				3,9	24,2



Signature spectrale pour la recommandation

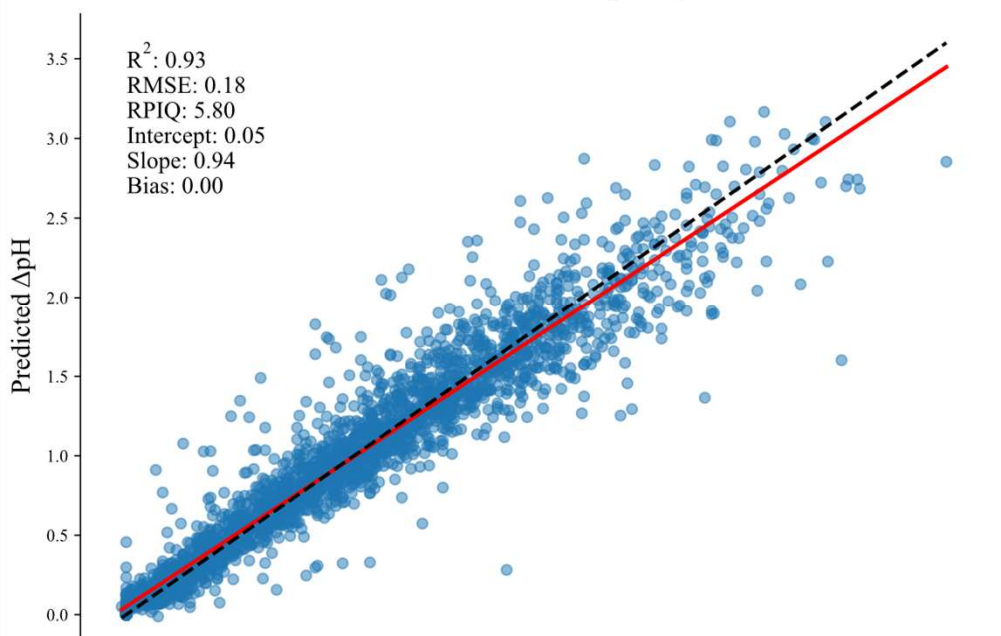


Un modèle de prédiction par IA de la dose de chaux presque parfait

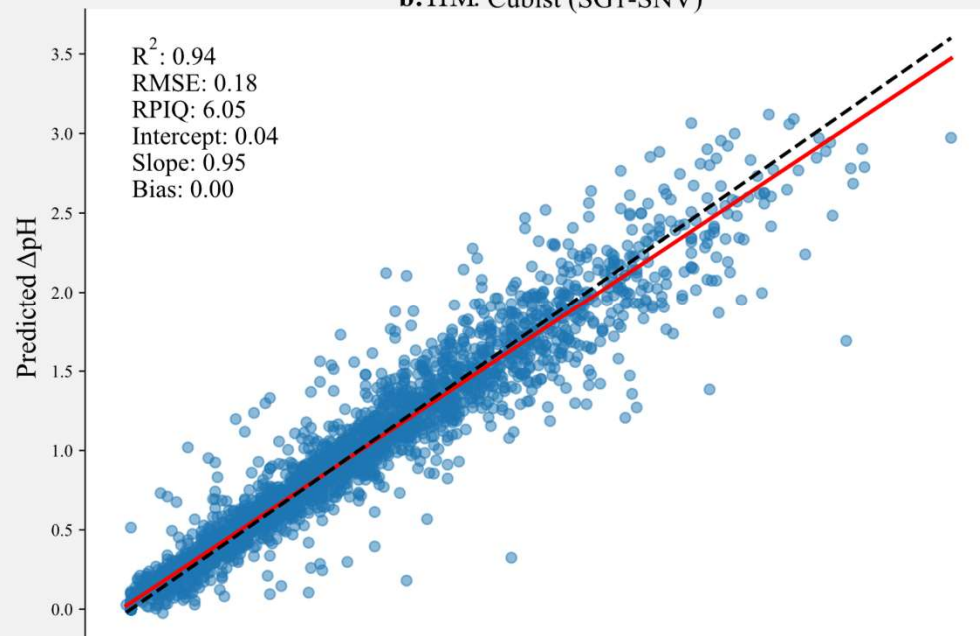


Signature spectrale

a. SSM:Cubist (SNV)



b. HM: Cubist (SG1-SNV)

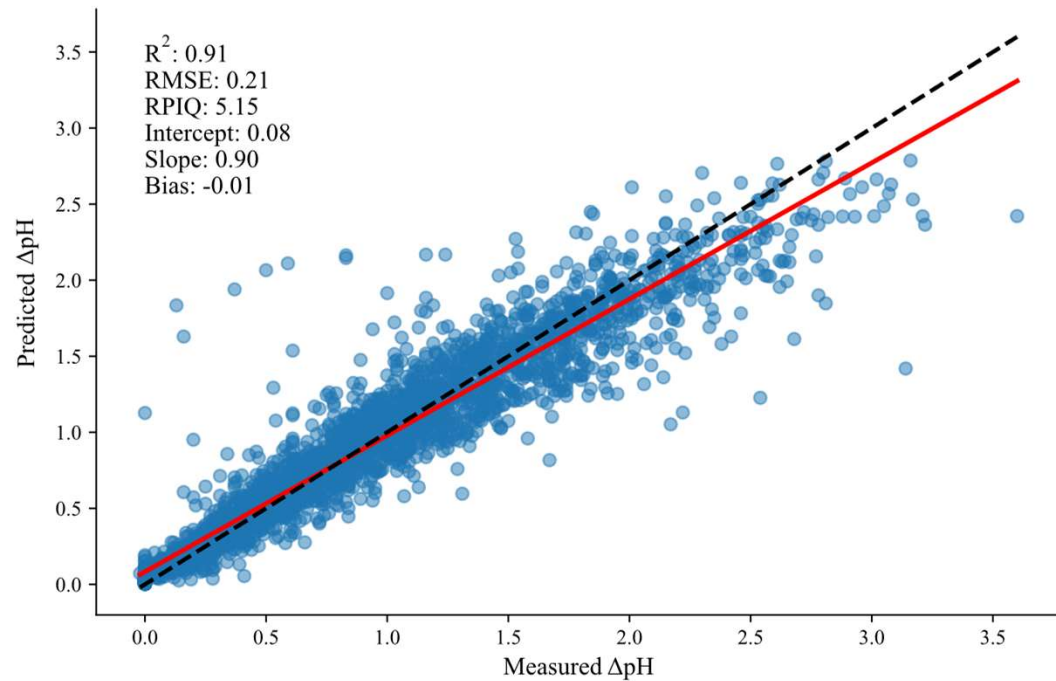




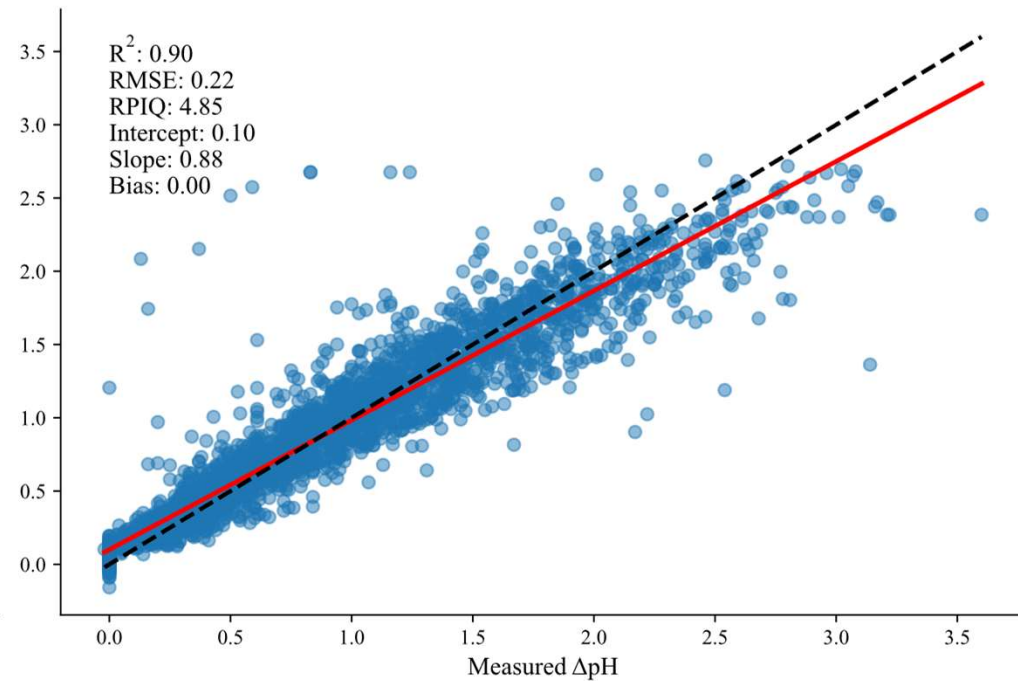
Un modèle de prédiction par IA de la dose de chaux

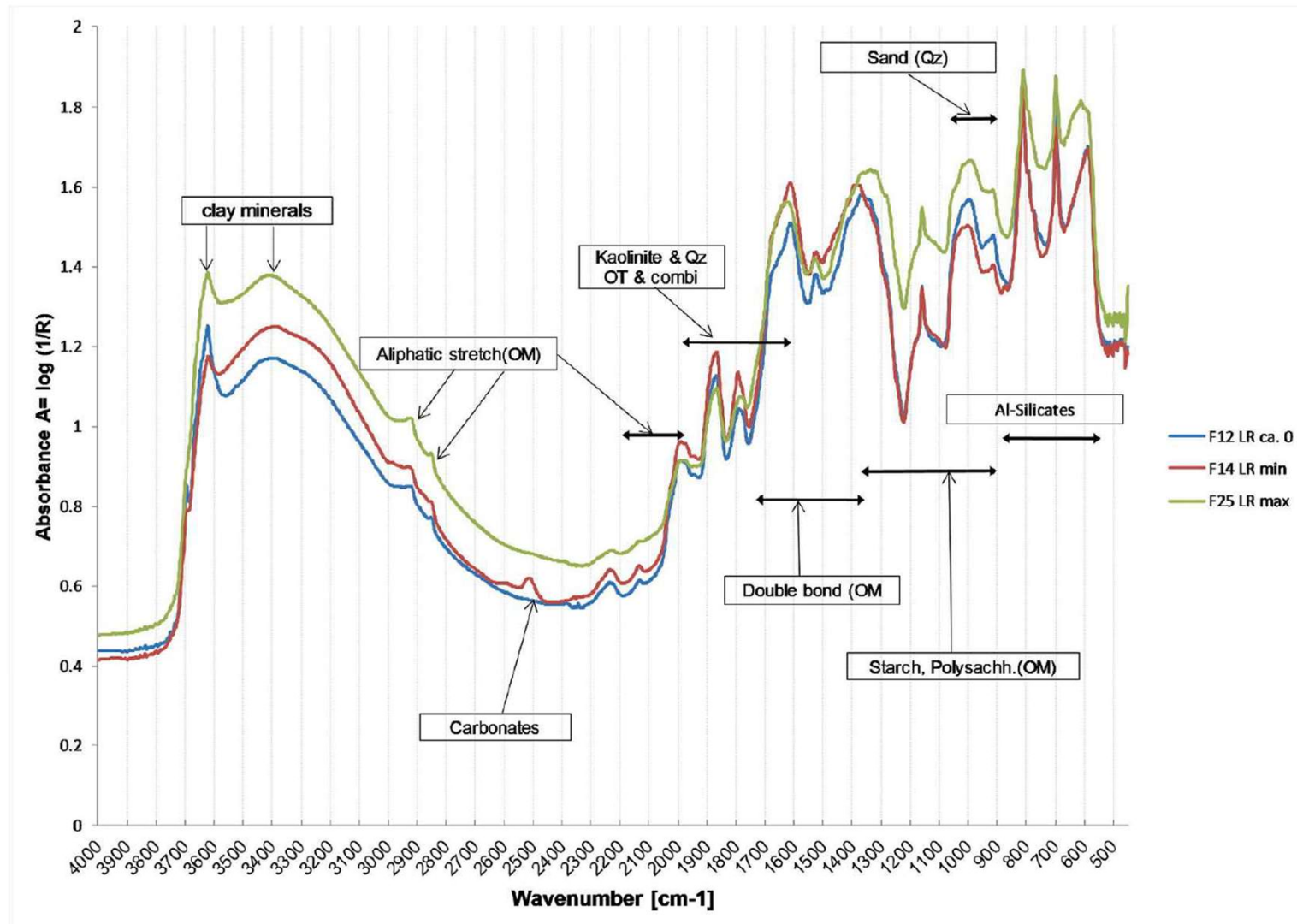
Signature chimique

a. Random Forest



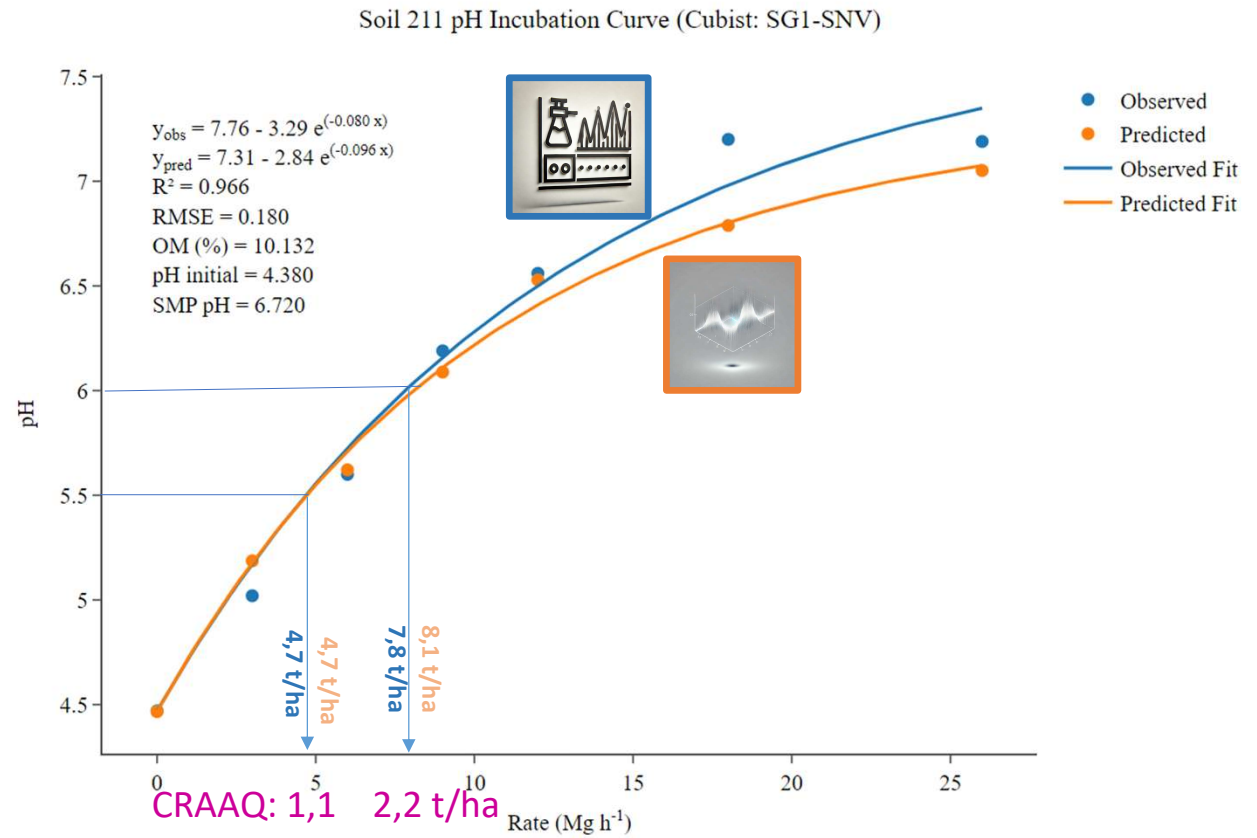
b. XGBoost





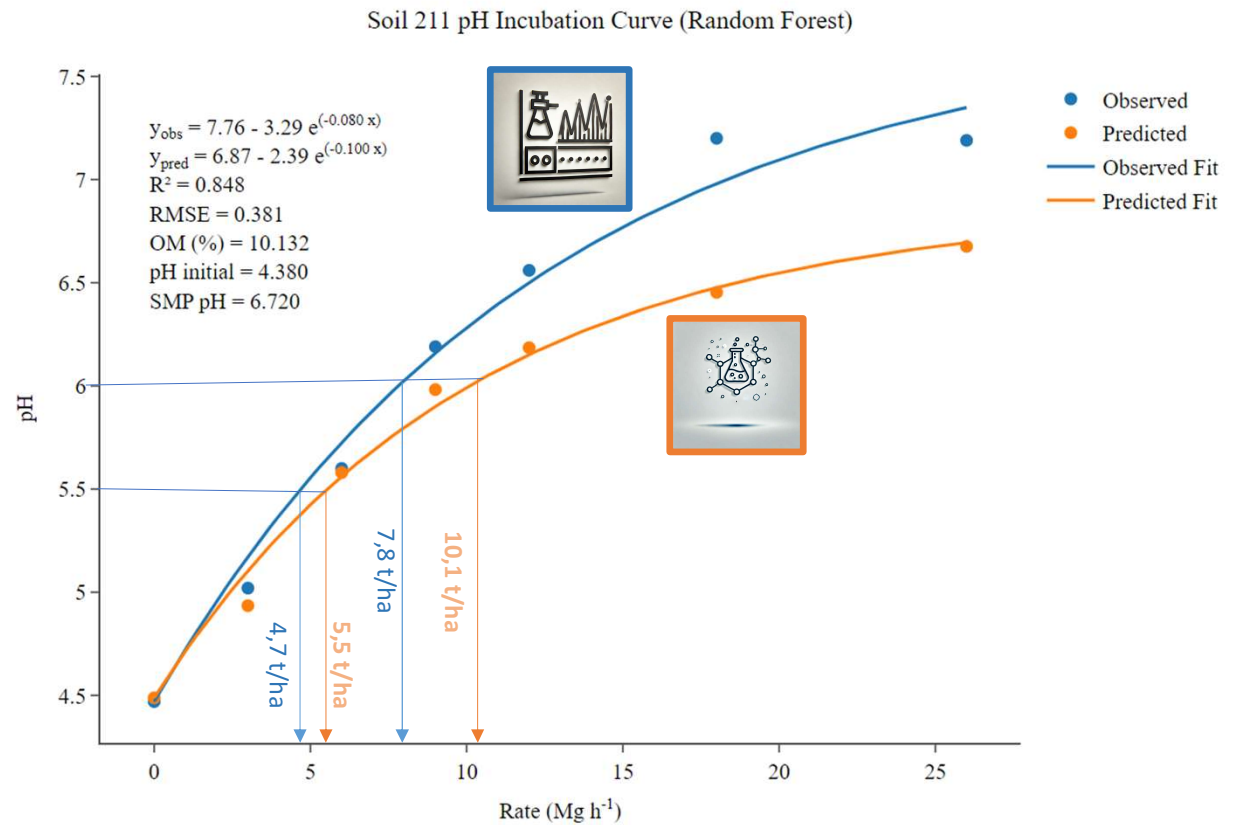
Exemple 1: Ferme Yvon Lessard Prédiction signature spectrale

Série Baby



Exemple 1: Ferme Yvon Lessard Prédiction signature Chimique

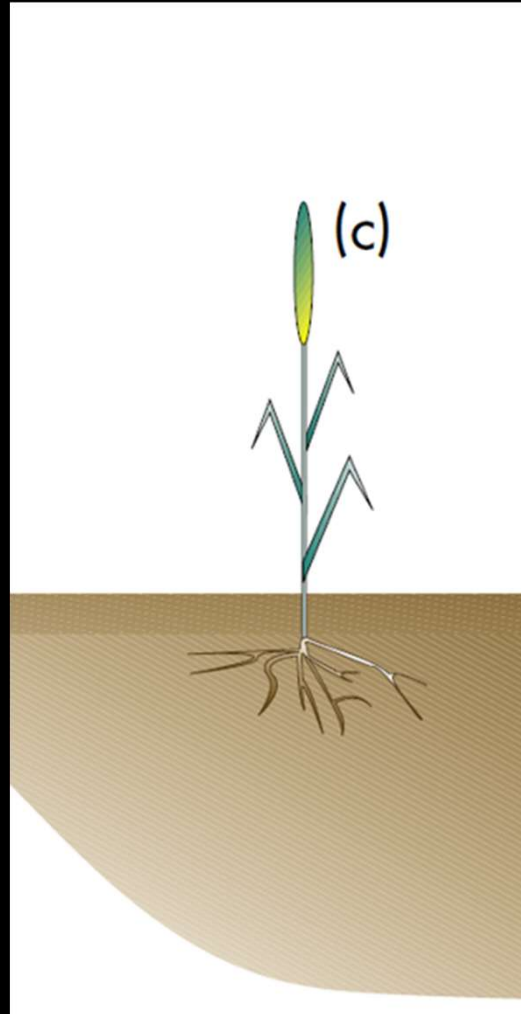
Série Baby



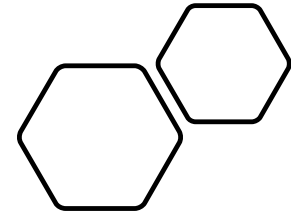
Prédiction des doses pour le pH ciblé de 5,5 et 6,0

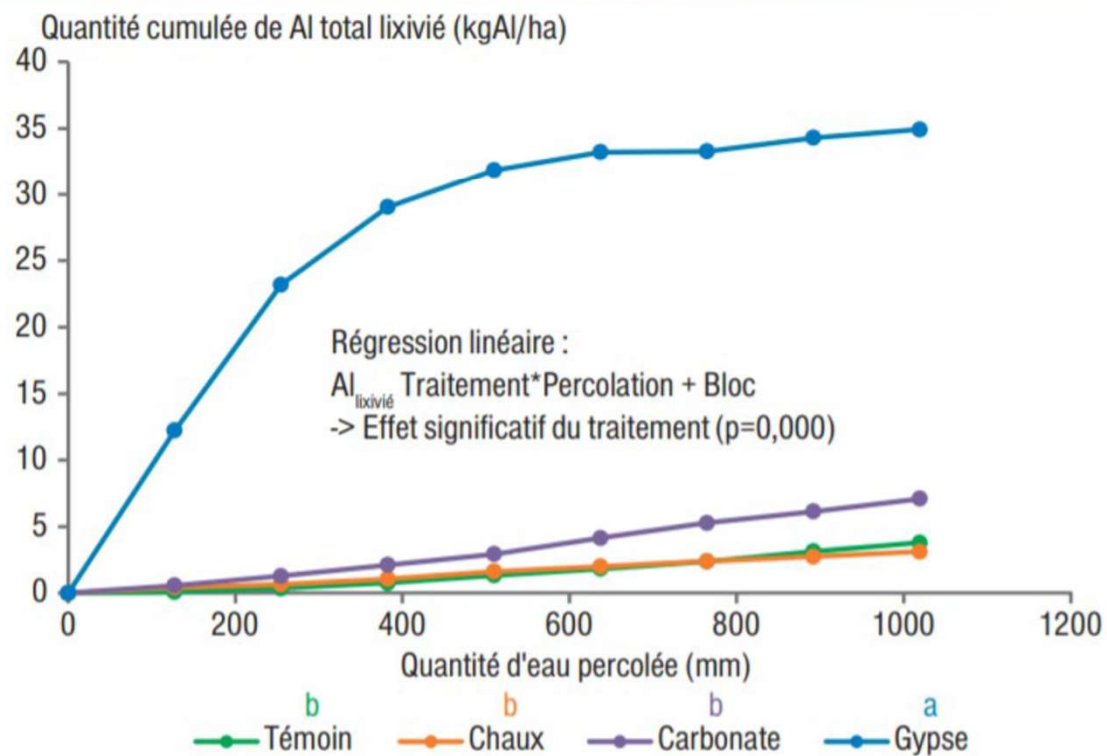


		Doses de chaux pour atteindre pH 5,5				Doses de chaux pour atteindre pH 6,0			
pH _{eau}	pH _{SMP}	Observé	CRAAQ	Signature chimique	Signature Spectrale	Observé	CRAAQ	Signature chimique	Signature Spectrale
4.4	6.7	4.7	1.1	5.5	4.7	7.8	2.0	10.1	8.1
5.2	6.6	0.2	1.3	0.2	0.2	1.8	2.5	2.4	1.6
5.2	6.8	4.0	0	2.8	2.9	7.2	-	5.6	5.5
5.5	7.1	-	0	-	-	1.1	-	1.6	1.4
5.1	7.1	1.3	0	1.7	1.2	3.4	-	4.3	3.3
5.4	7.0	0.7	0	0.8	0.7	2.9	-	3.7	3.2
4.7	6.3	4.9	2.3	3.7	4.2	8.8	4.2	7.5	8.6
5.3	6.7	4.7	1.1	6.0	4.2	8.5	2.0	10.9	7.1
5.5	6.9	-	0	-	-	2.9	-	4.0	3.7
5.3	6.4	9.8	1.9	6.3	5.7	17.3	3.5	12.5	11.0
5.9	6.8	-	0	-	-	2.5	-	0.9	2.8
5.8	6.7	-	0	-	-	6.6	2.0	6.4	8.6
5.6	6.7	-	0	-	-	3.1	2.0	4.7	4.6
4.9	6.4	13.7	1.9	9.4	9.6	20.7	3.5	16.4	16.4
5.3	6.2	20.7	2.8	7.6	9.5	33.3	4.8	14.9	16.8
5.7	7.0	-	0	-	-	2.1	-	3.7	2.4



Correction de l'acidité de profondeur





Fractionnement de la chaux

Attention

- Éviter le sur-chaulage (carence oligoéléments surtout en sols sableux)
- Ne pas appliquer en même temps chaux et urée ou engrais de fermes (pertes ammoniacales)

Règles d'art

- Dose minimale de chaux :
 - Dose permettant de ramener le pH à un minimum de **5,5**
 - En ne dépassant pas les doses annuelles ci-dessous
- Dose maximale théorique par année :
 - **6 t/ha** en texture grossière (**G3**)
 - **7 t/ha** en texture moyenne (**G2**)
 - **8 t/ha** en texture fines (**G1**)
 - **5 t/ha** pour les chaux fines ou vives (**G1, G2, G3**)
- Dose maximale pratique par apport: **5 t/ha**
- Dose minimale pratique par apport: **1,5 t/ha**
- Dose maximale de printemps **3 t/ha**
- Dose maximale sur les prairie entretien: **2,5 t/ha**

Remerciements

Conseil de recherches en sciences
naturelles et en génie du Canada



Rio Tinto

Rio Tinto (RTA)



Graymont



Omya Canada Inc.