

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

Lotfi Khiari

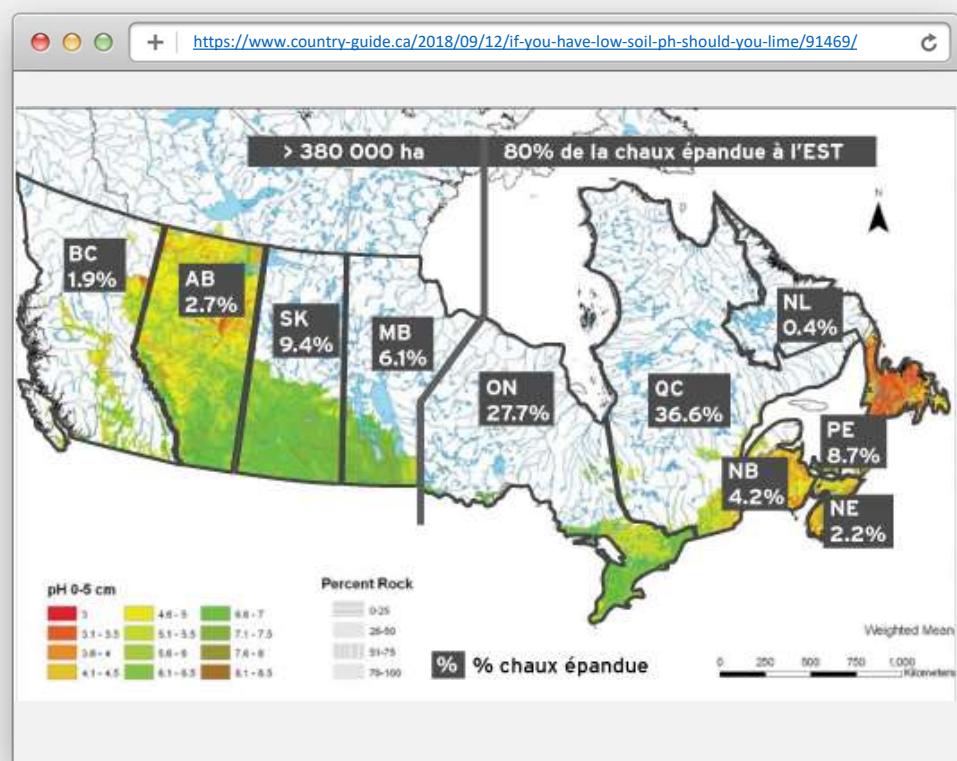
21 février 2025



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



Répartition de la chaux sur les terres au canada



DAQARA

DA

Diagnostic de l'acidité



QA



Qualité de l'amendement

RA



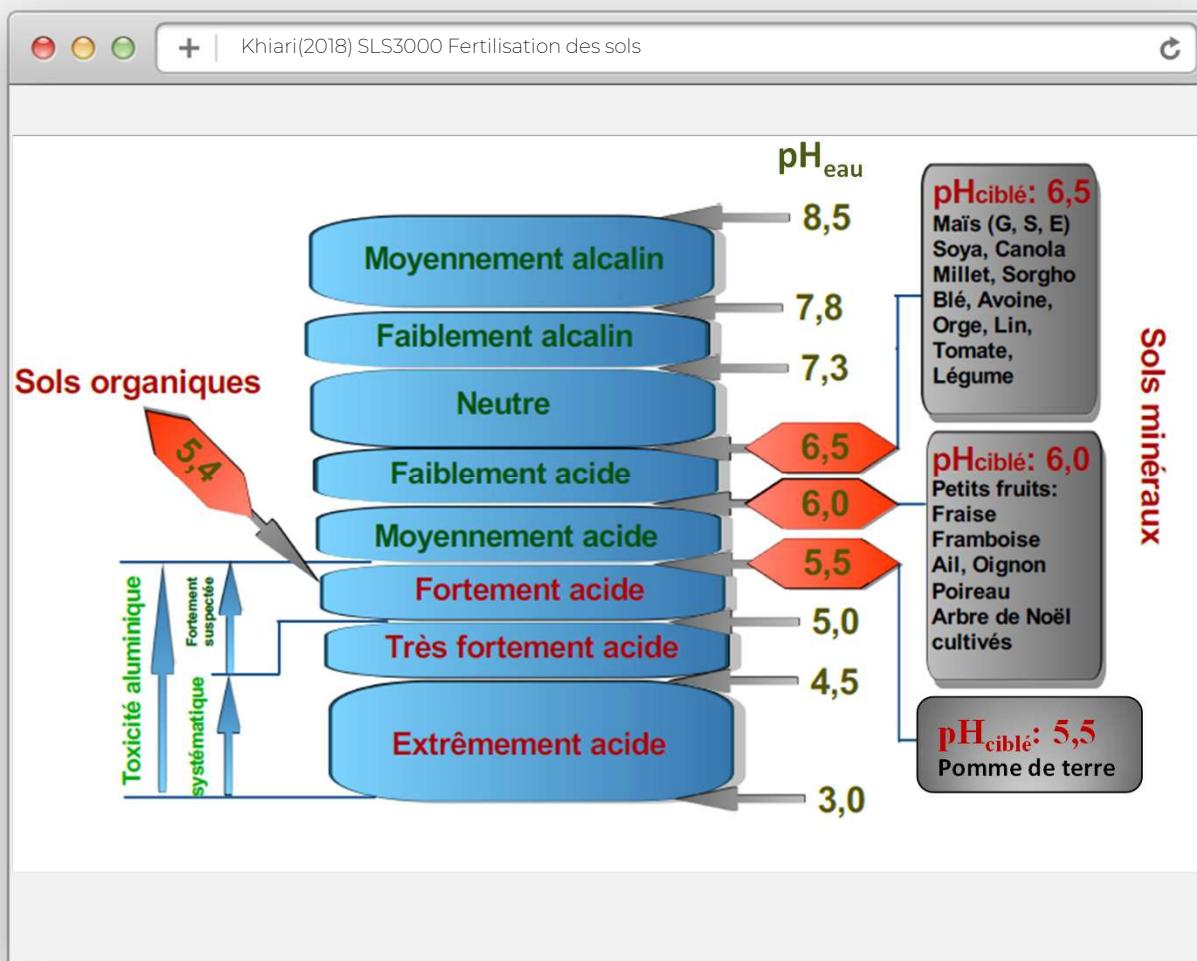
Recommandation d'application

Volet 1: Diagnostic de l'acidité

DA



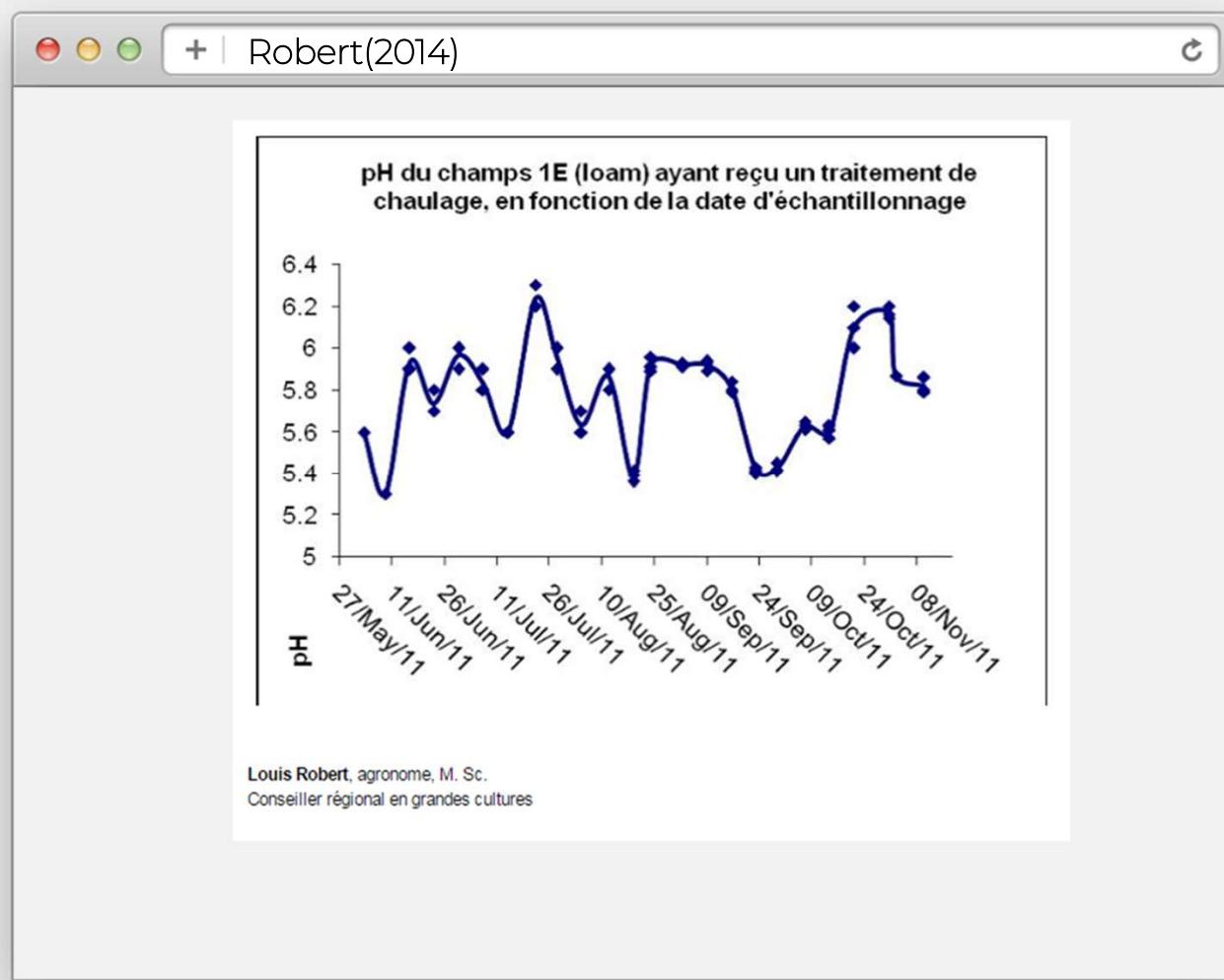
Système actuel



Système actuel trop simpliste



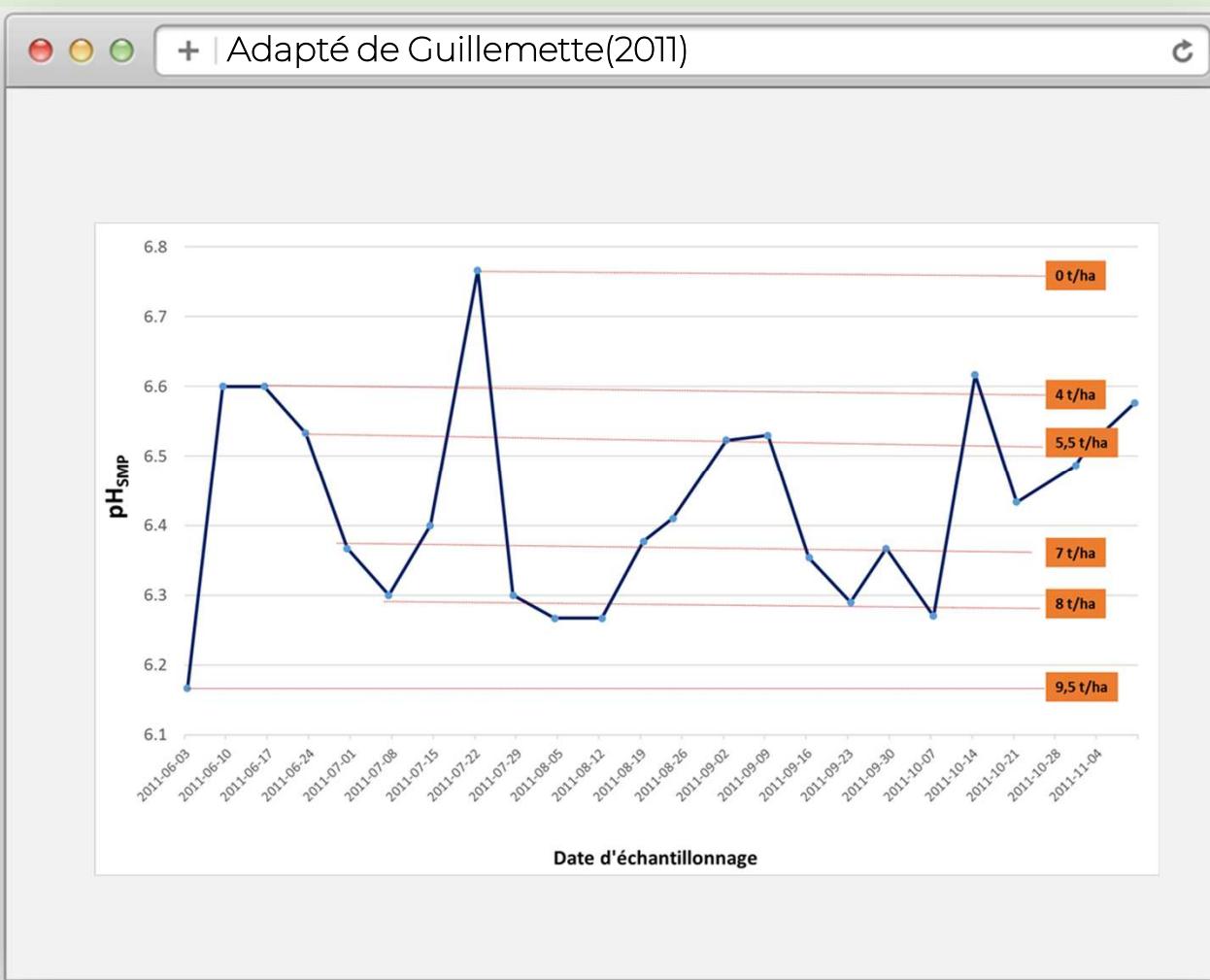
Ampleur de la variation du pH_{eau}



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



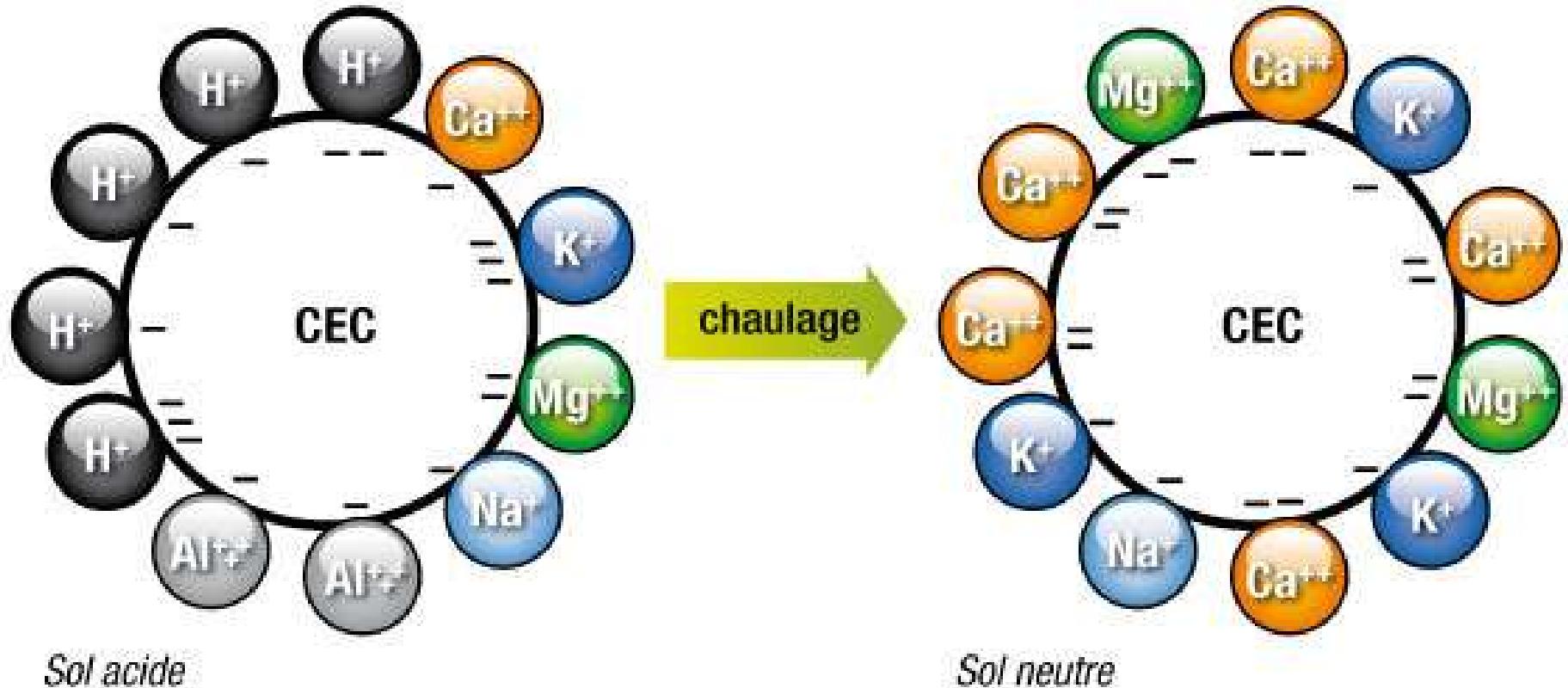
Louis
ROBERT
Agronome, M. Sc.
Conseiller régional
en grandes cultures

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

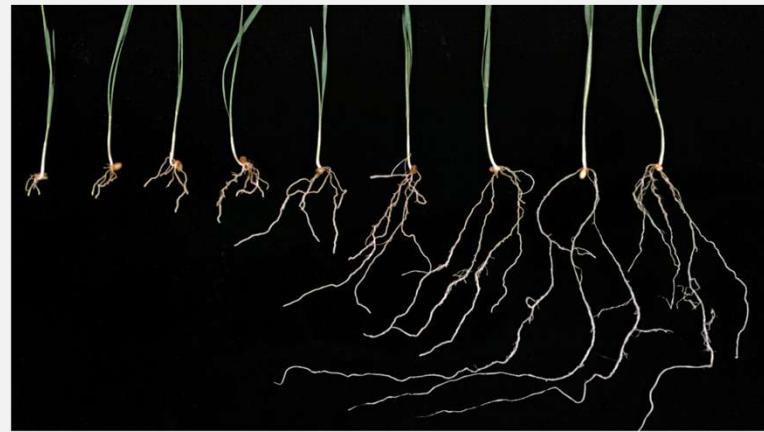
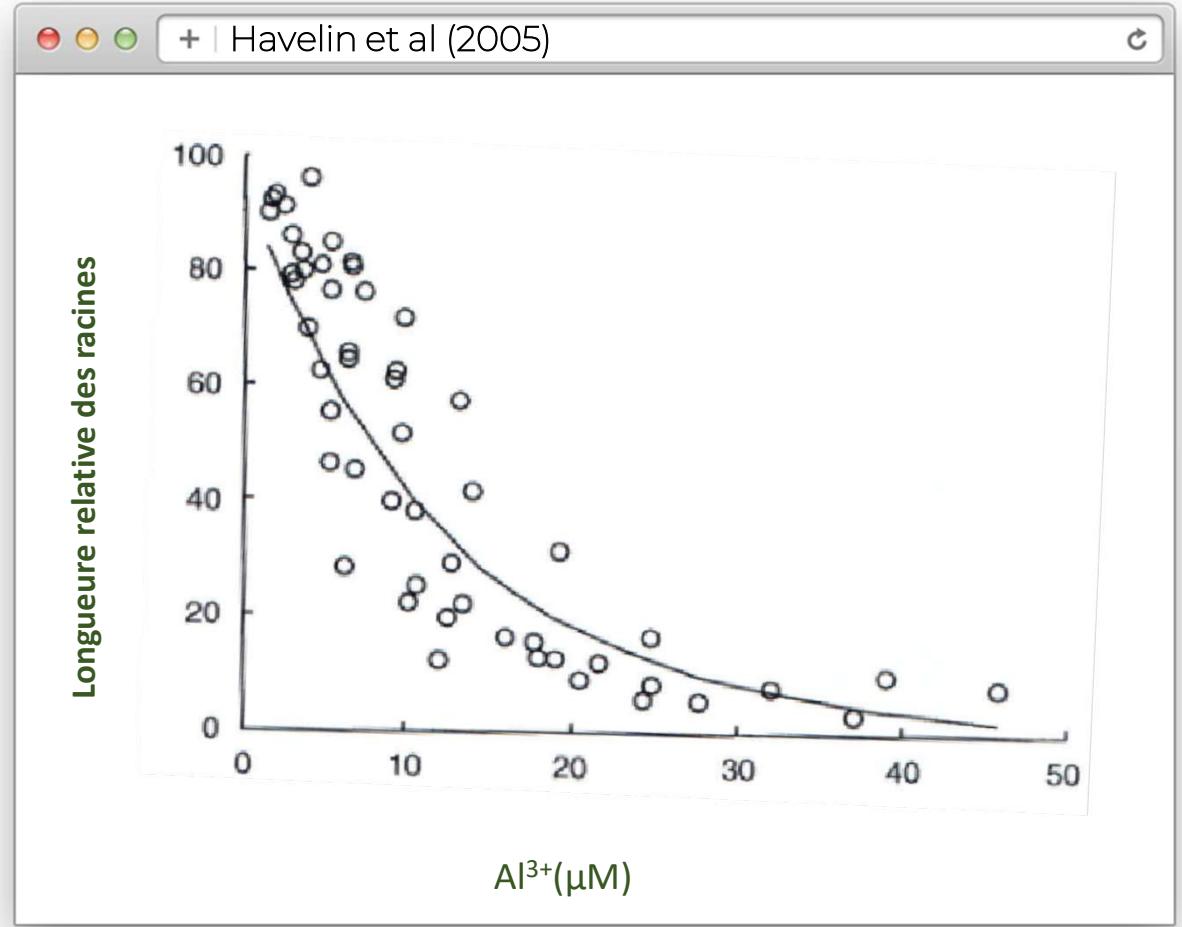
LES RÉSULTATS, PAR ÉLÉMENT

Le pH de l'eau

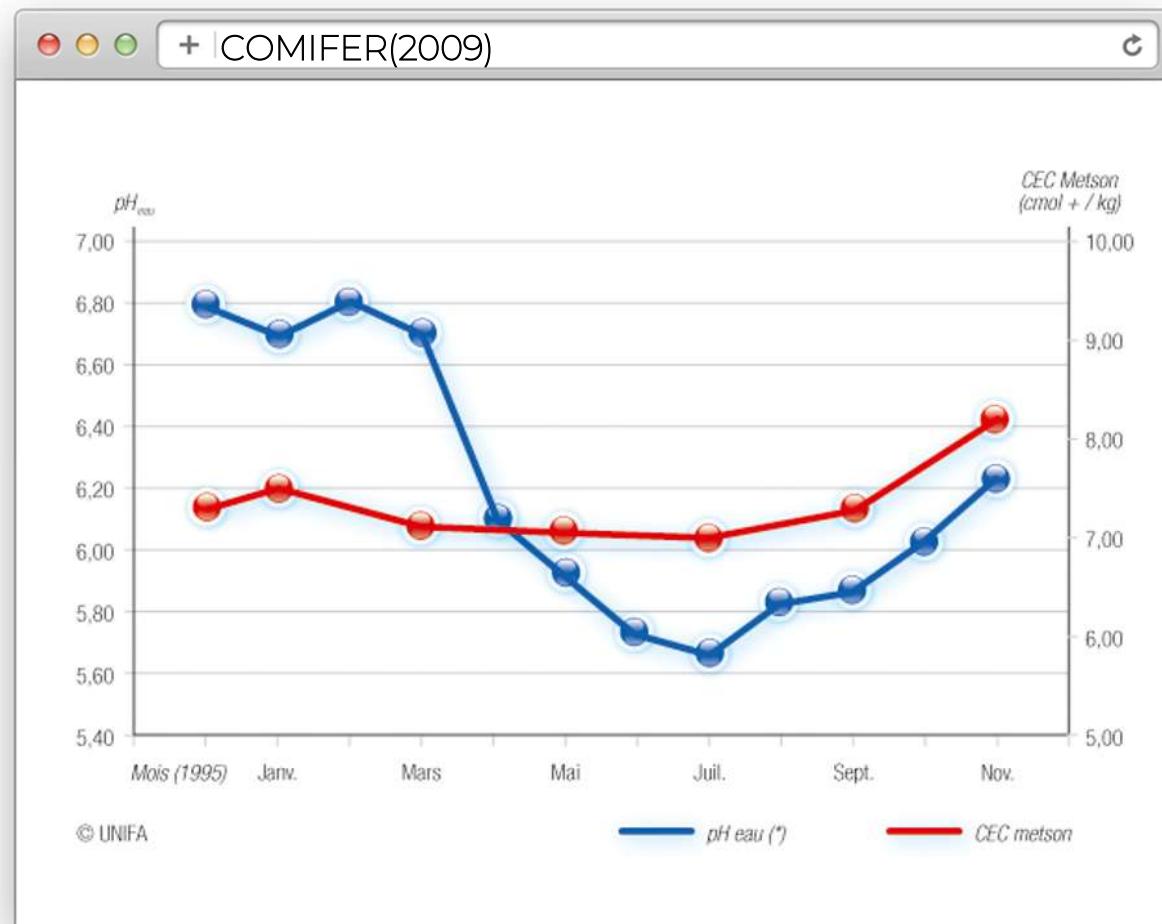
Le pH de l'eau du site de Saint-Lambert était, au départ, de 5,4. À la fin septembre, il a varié de 5,2, son minimum, à 5,8 en novembre, et ce, sans patron identifiable en fonction du temps. L'ajout de chaux a semblé créer une variabilité plus prononcée encore, mais qui n'était pas plus prédictible. 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).



Toxicité aluminique



Variabilité des indicateurs de diagnostic



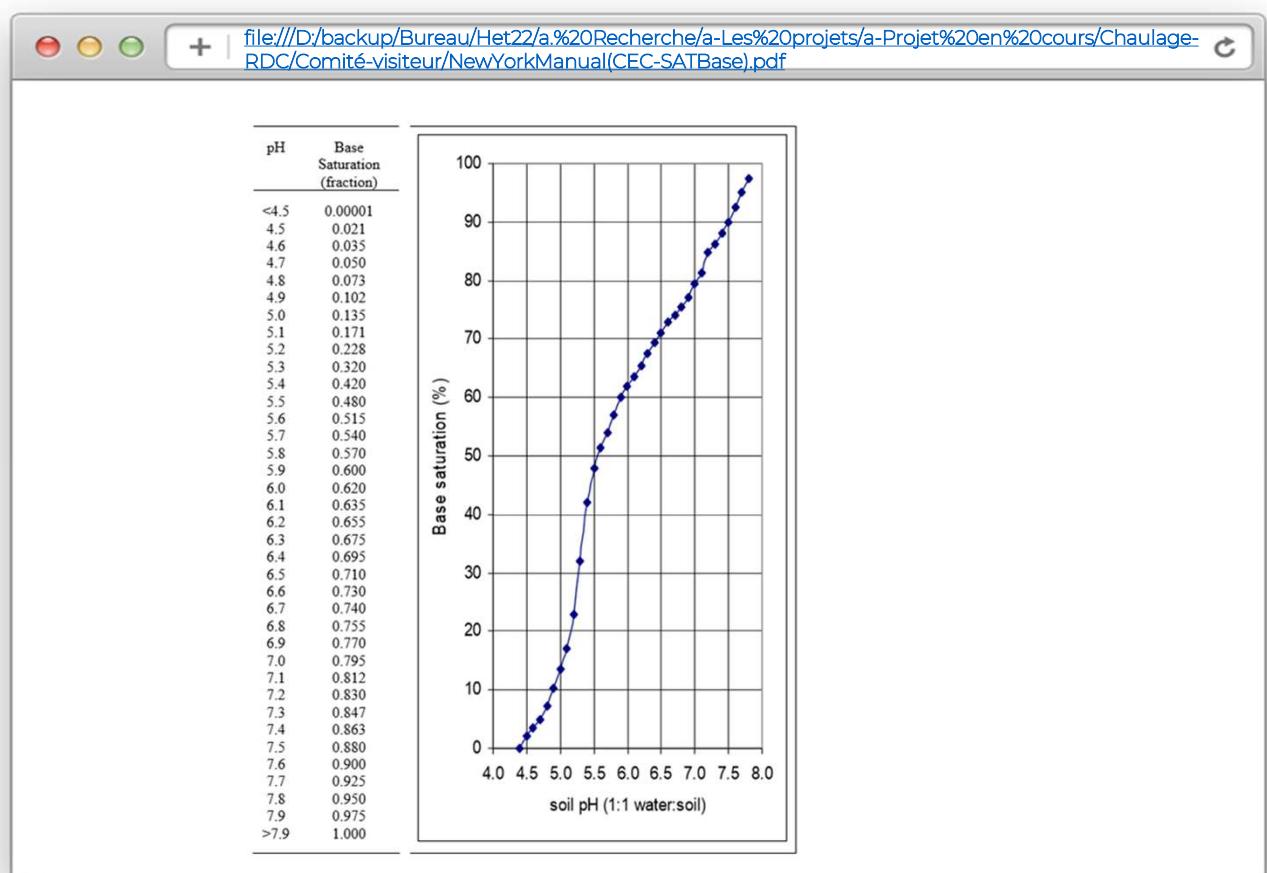
Système de diagnostic australien



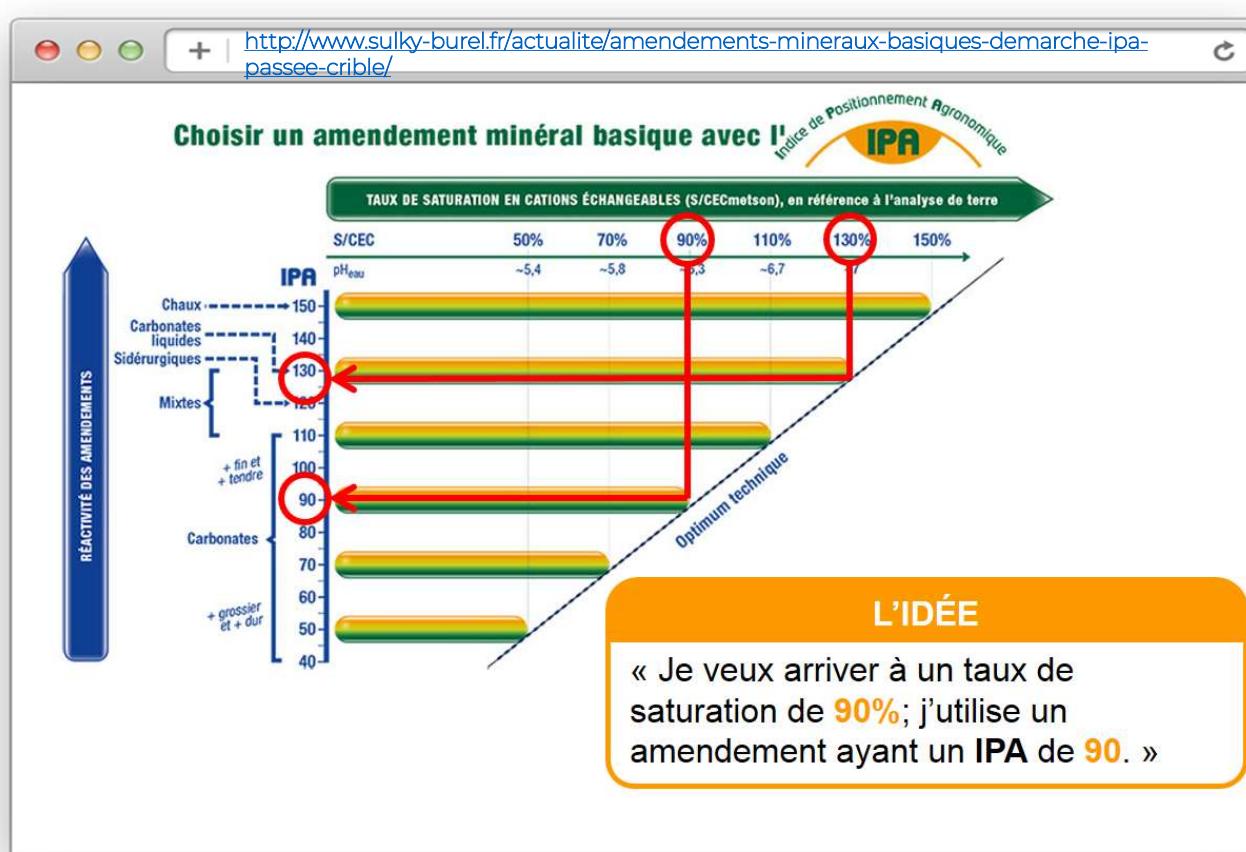
If the pH (CaCl_2) for your soil is: and Al_{ex} is: then:

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

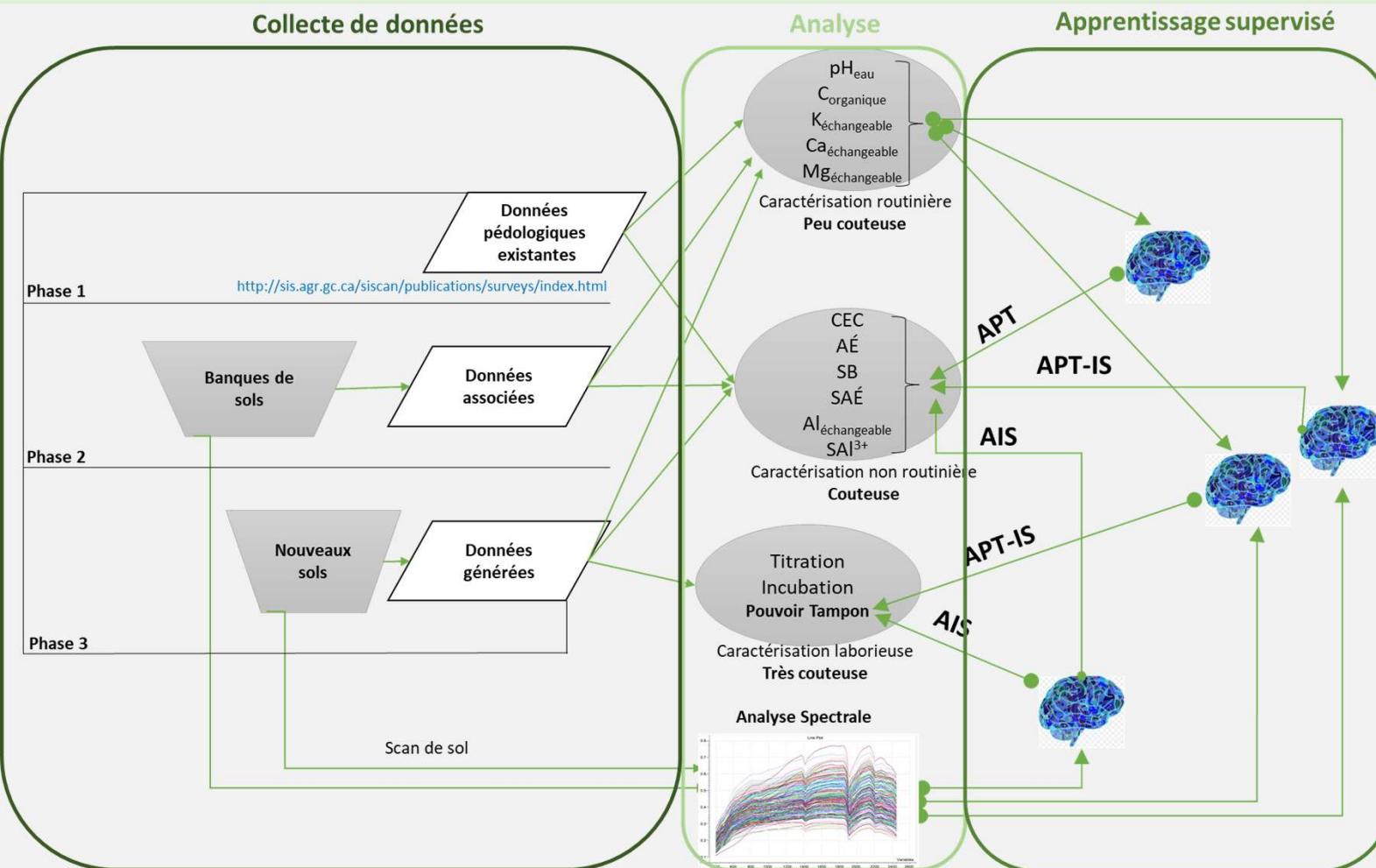


+ | Follett et Follett (1980)

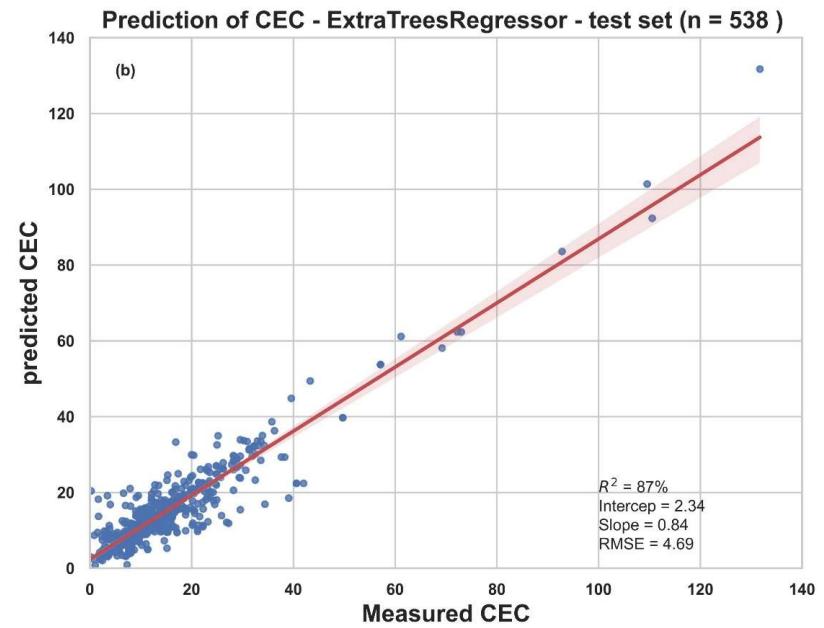
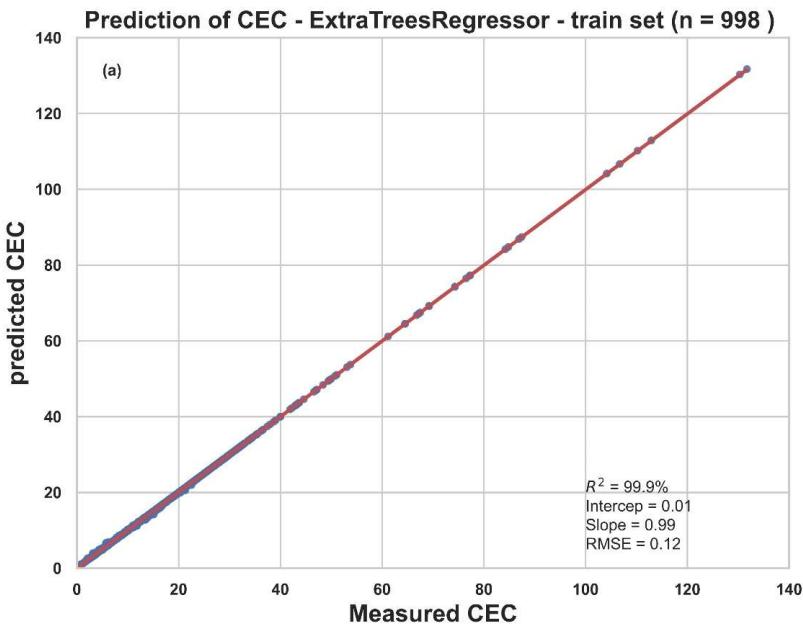
Suggestion: Alimenter le système de DA par d'autres indicateurs:

- 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.

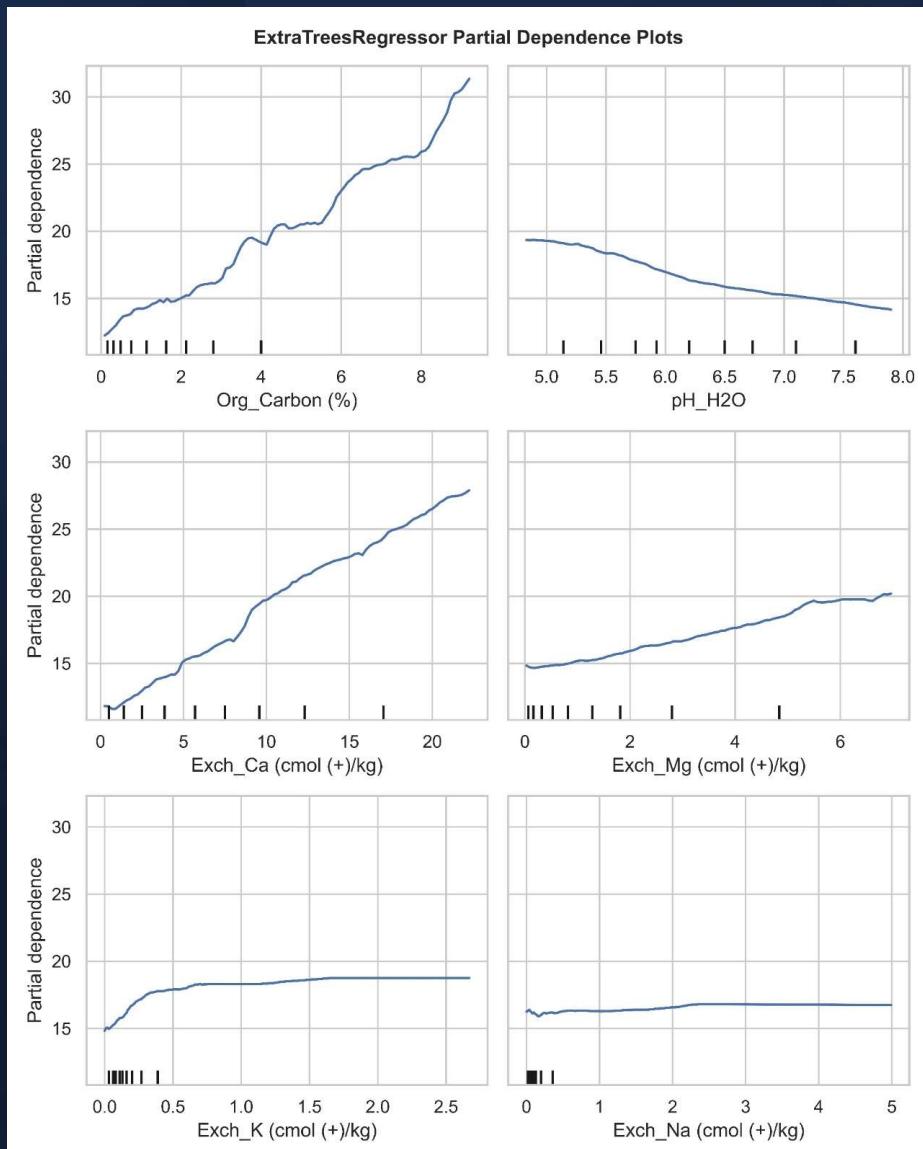
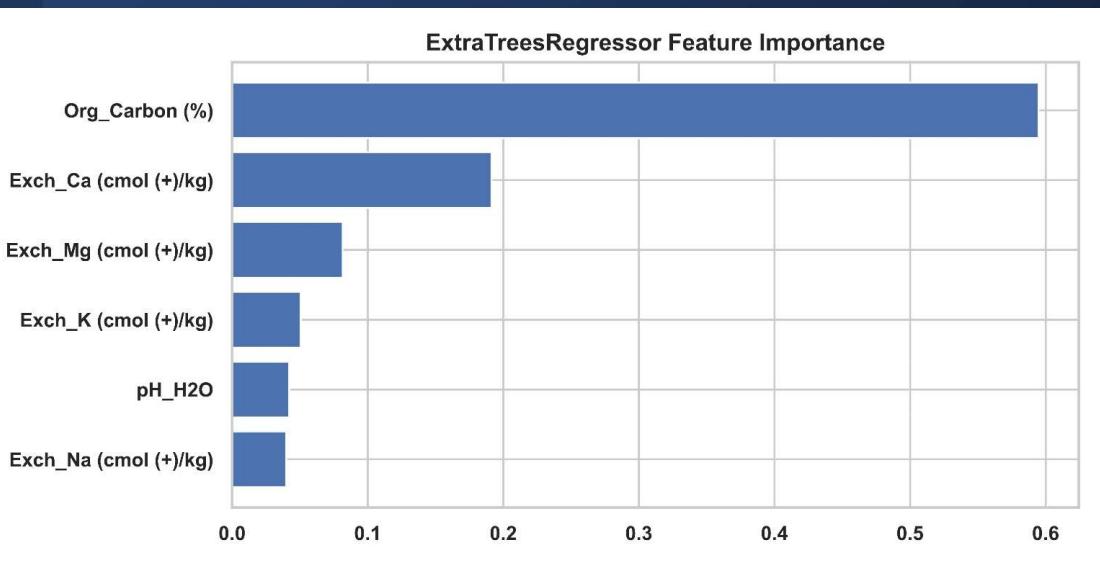
Procédures algorithmiques de pédotransfert et d'interprétation spectrale



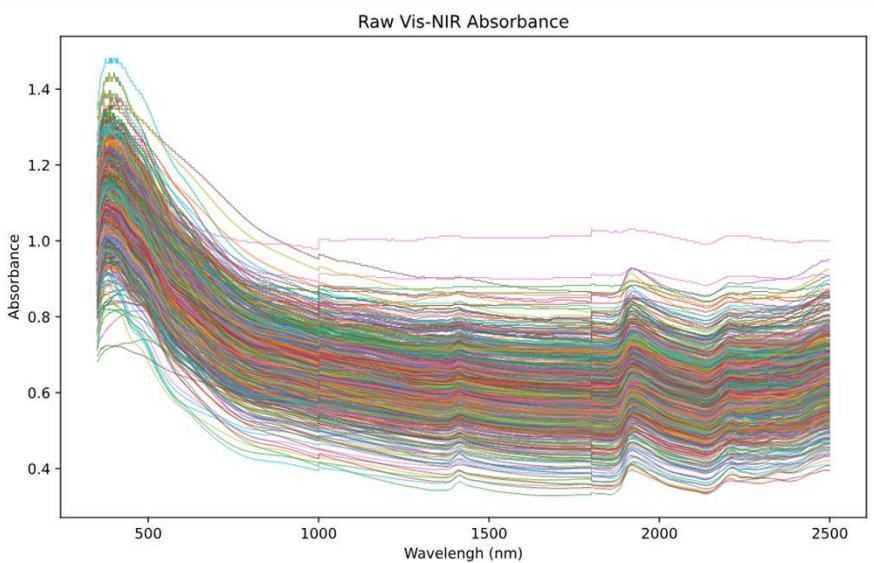
Signature chimique



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



Signature Spectrale Vis-NIR



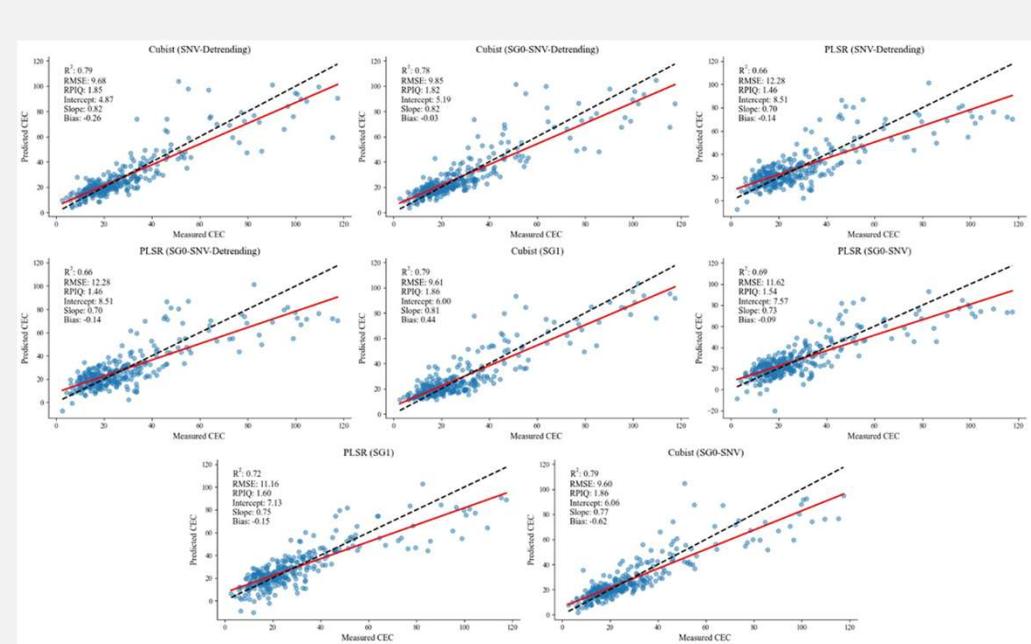
Robustesse: 79%

Exactitude: 77%

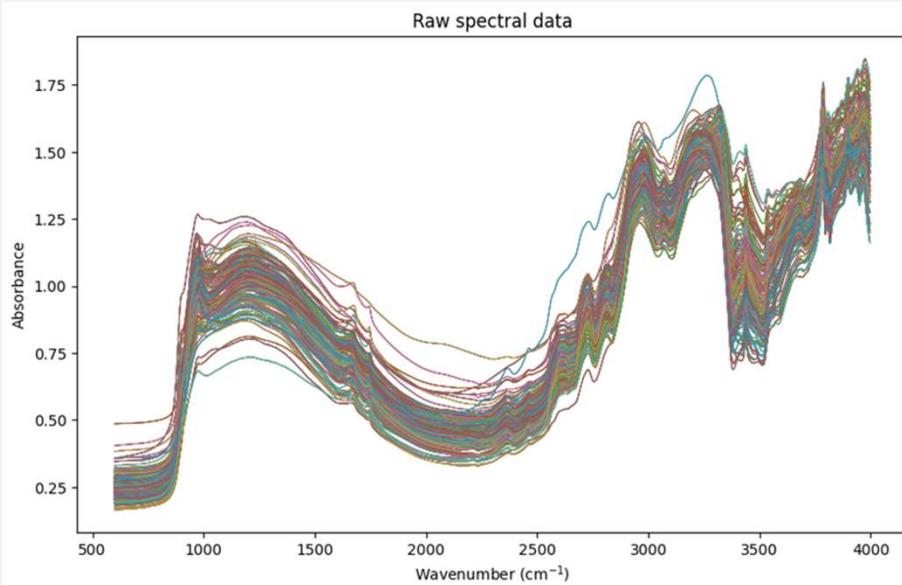
Sensibilité: 6.06 CEC unités

Précision: 1.86

Bias: 0.62



Signature spectrale MIR

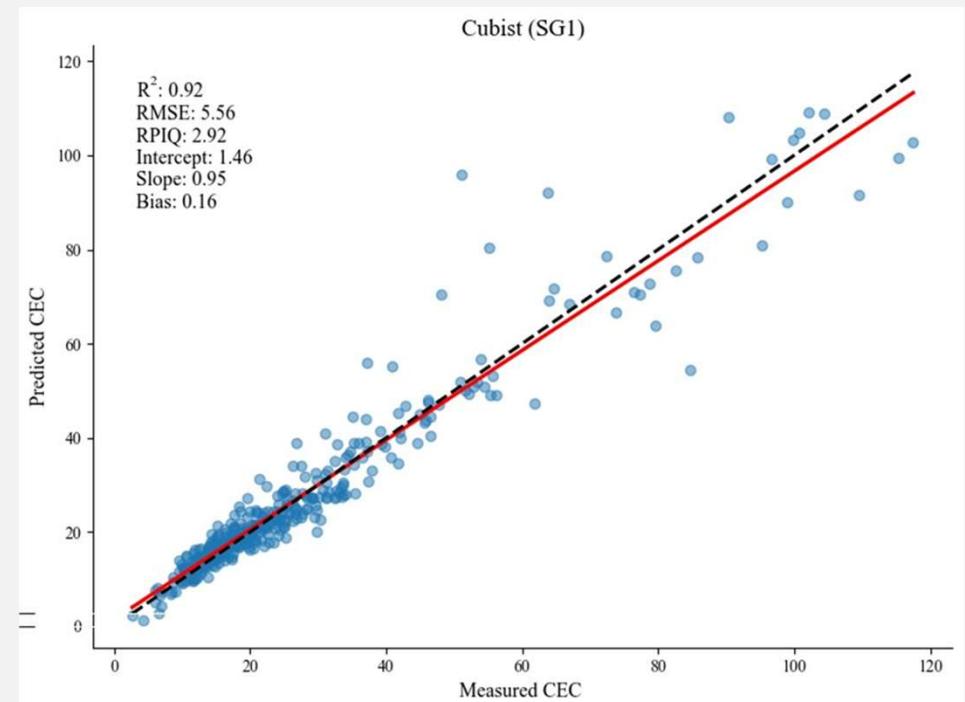


Robustesse: 92%

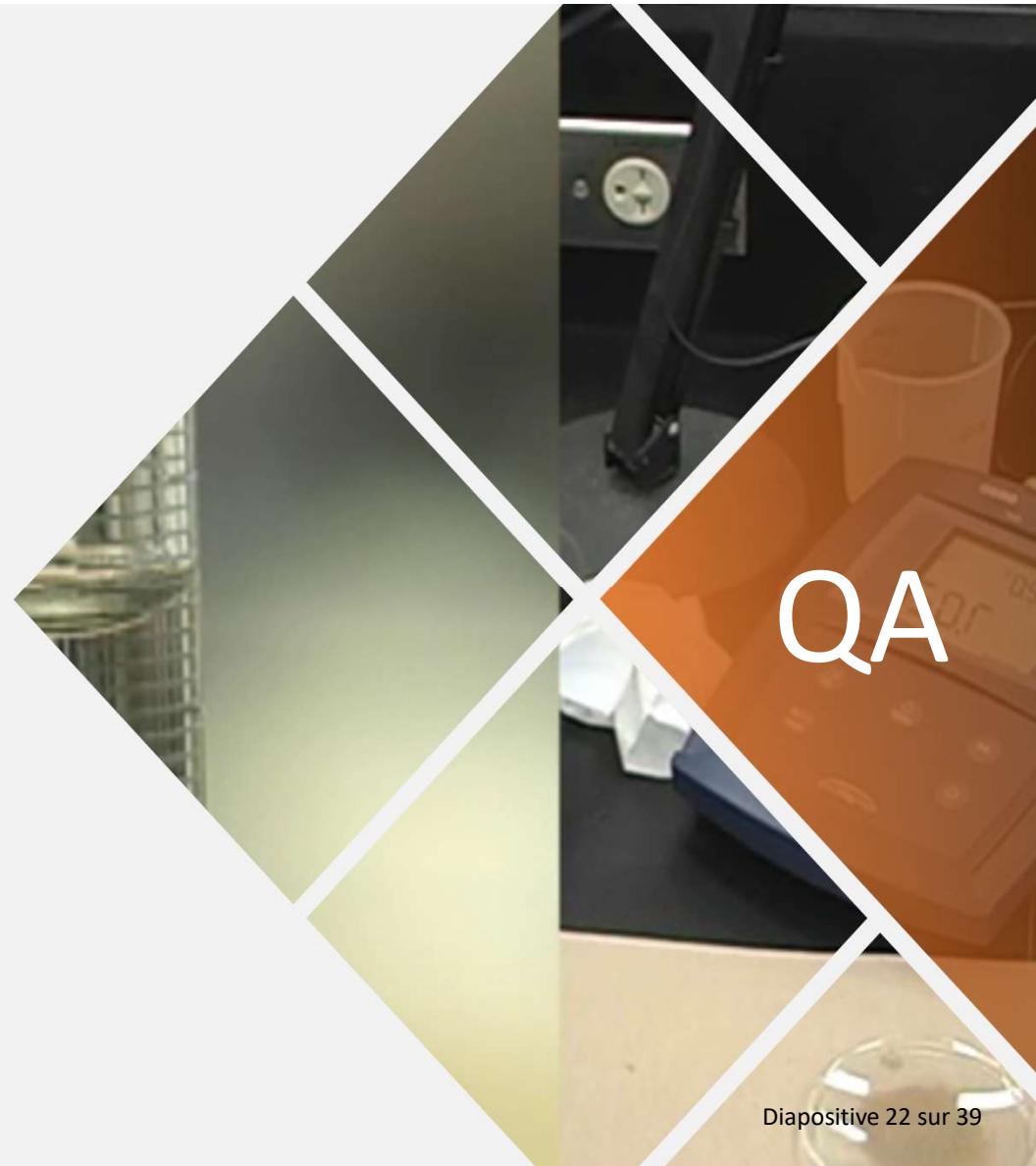
Exactitude: 95%

Sensibilité: 1.46 CEC unités

Précision: 2.92
Biais: 0.16



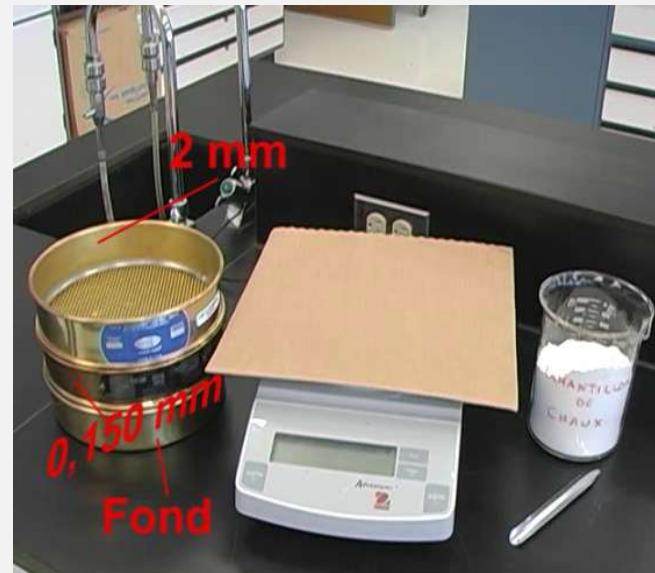
Volet 2: Qualité des amendements



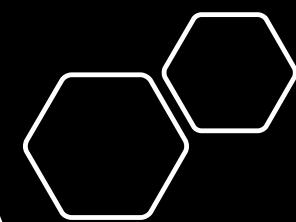
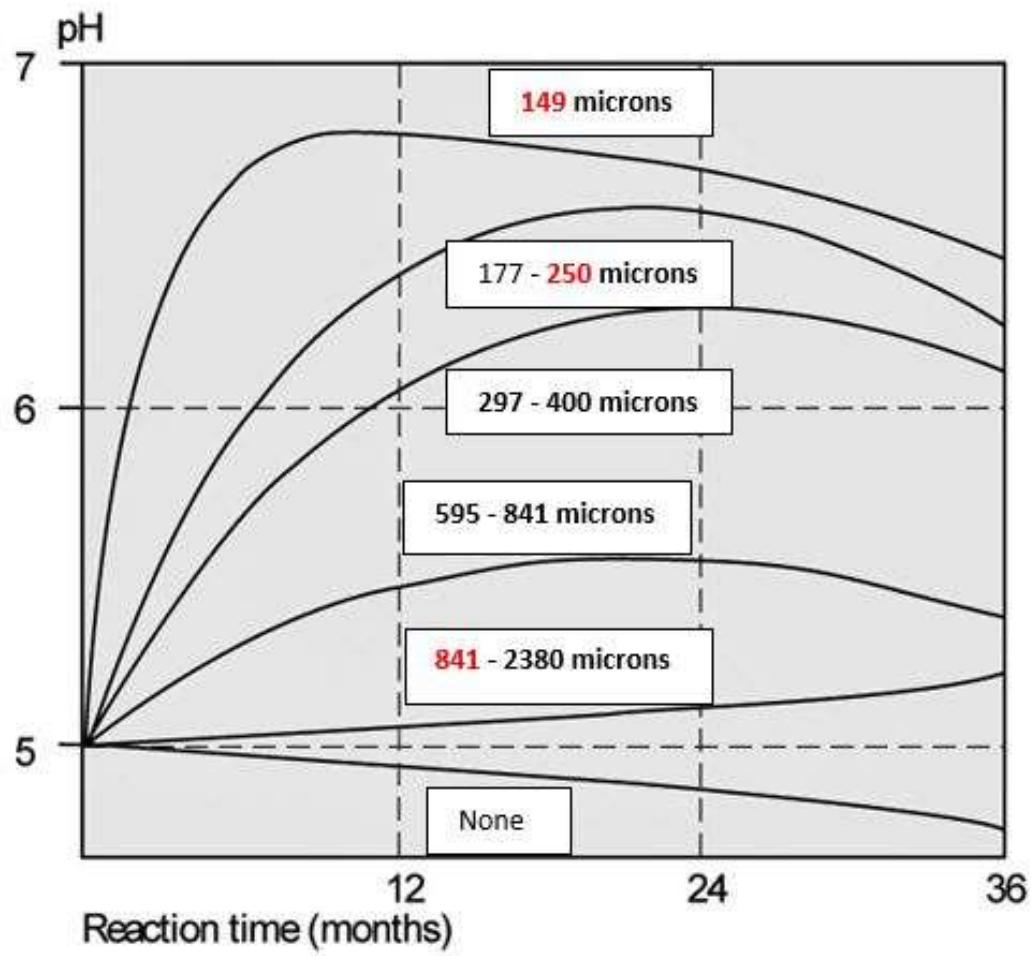
Système actuel de quantification de la qualité des amendements chaulants



Pouvoir neutralisant: PN



Efficacité agricole: EA (%)

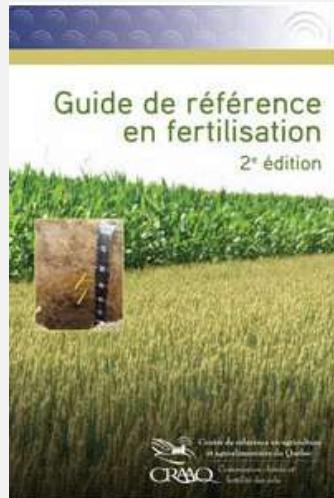


Système actuel pour les amendements chaulants

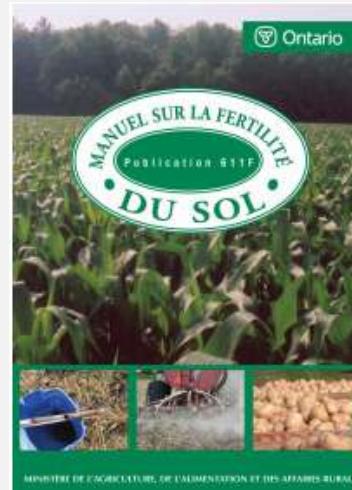


- PN: pouvoir neutralisant ou ECC
- EA: efficacité agricole
- Réactivité ou vitesse de solubilité
- Cations associés (essentiellement Ca, Mg)
- La force alcalinisante
- Diffusion dans le profil cultural
- Carbonates résiduels
- Effet de la granulation pour le chaulage d'entretien
- Compatibilité physique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

Système actuel pour les amendements non chaulants



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



Tests de qualité des amendements



Tests QA

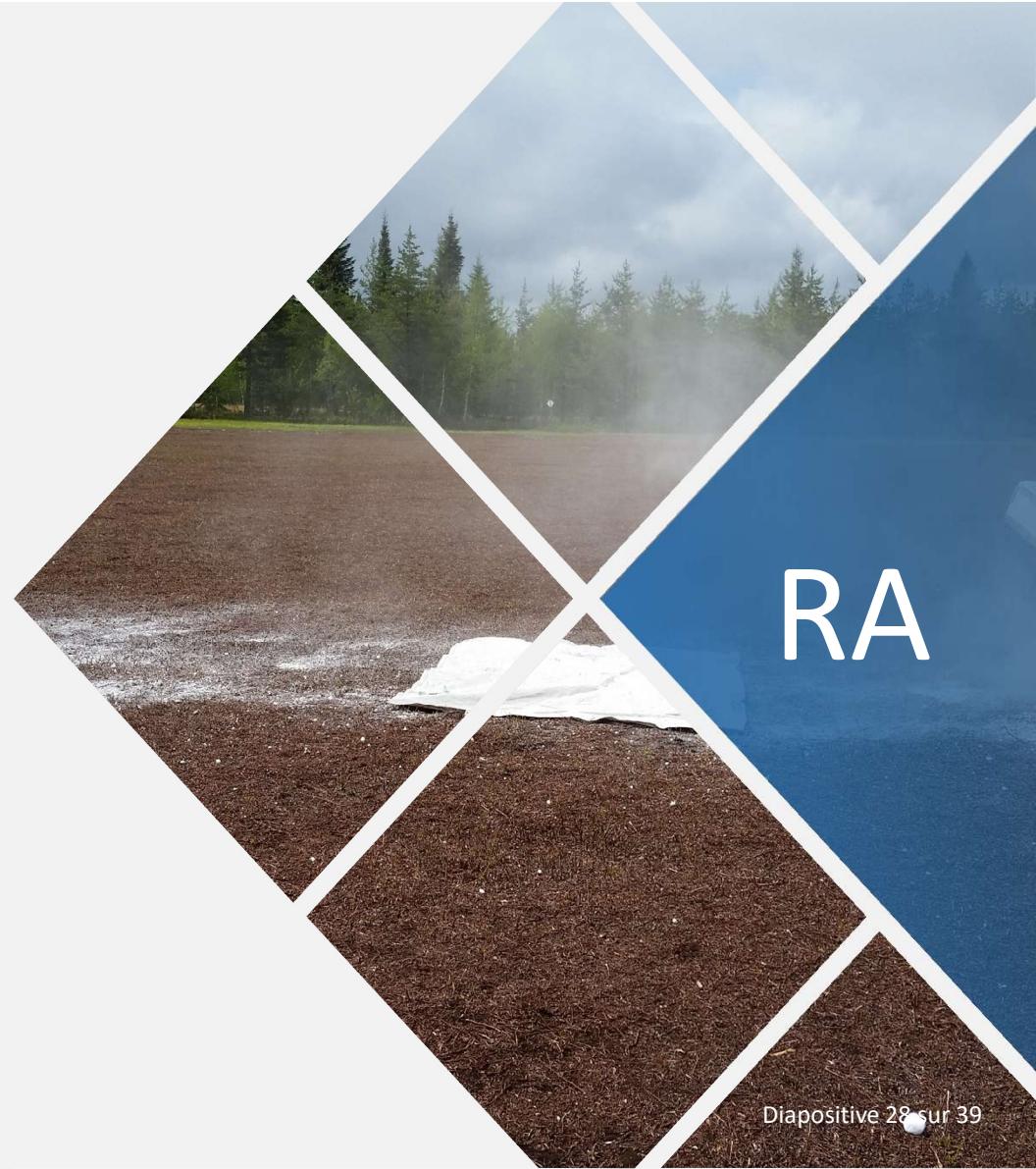
- Pouvoir neutralisant
- Finesse de mouture
- Réactivité carbonique
- Réactivité thermique
- Force alcaline

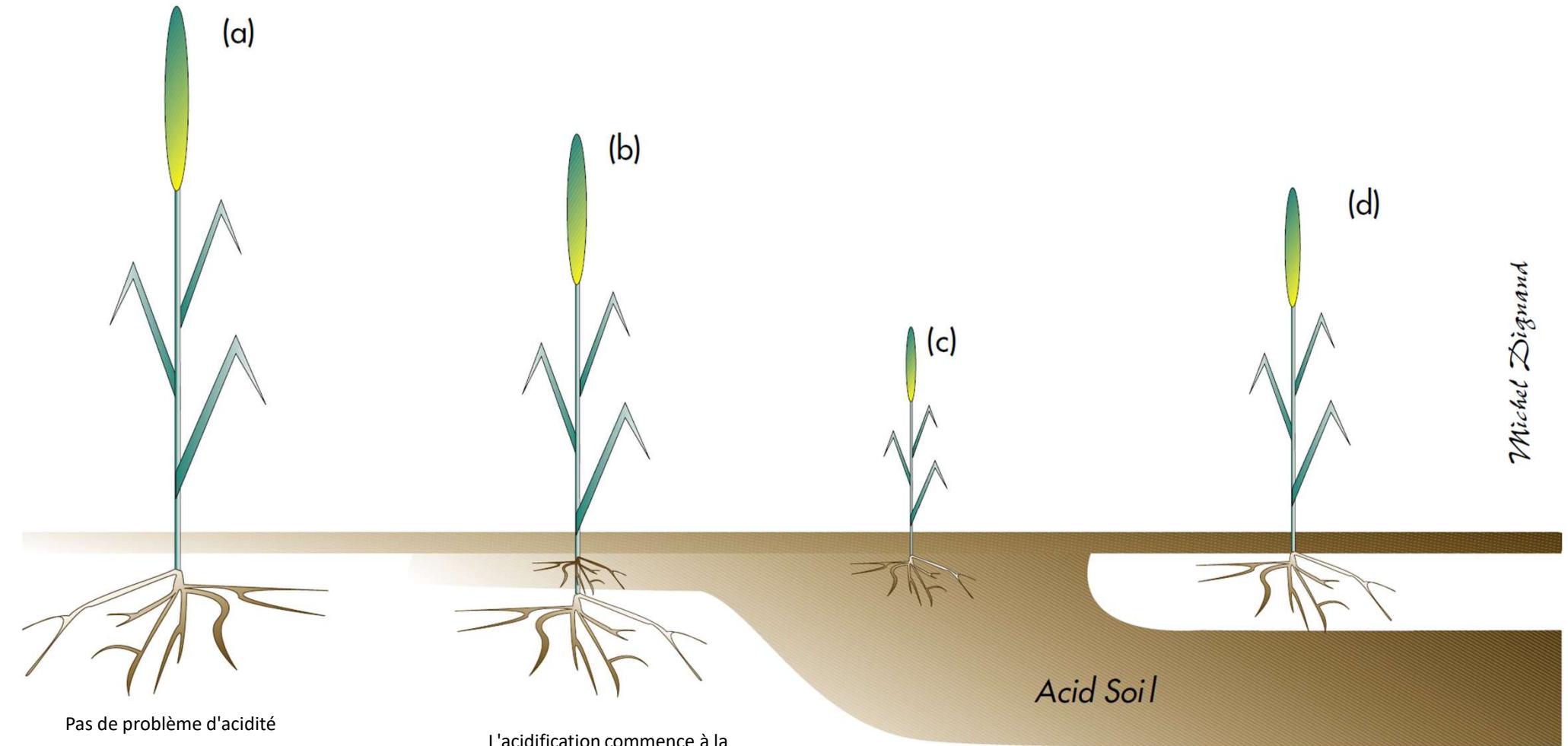
Expérimentations de validation

- 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	
✓	✓	✓	
✓	✓	✓	✓
✓			
✓	✓	✓	
✓	✓	✓	
✓			✓
✓	✓	✓	
✓	✓	✓	
✓			✓
✓	✓	✓	
✓	✓	✓	
✓			

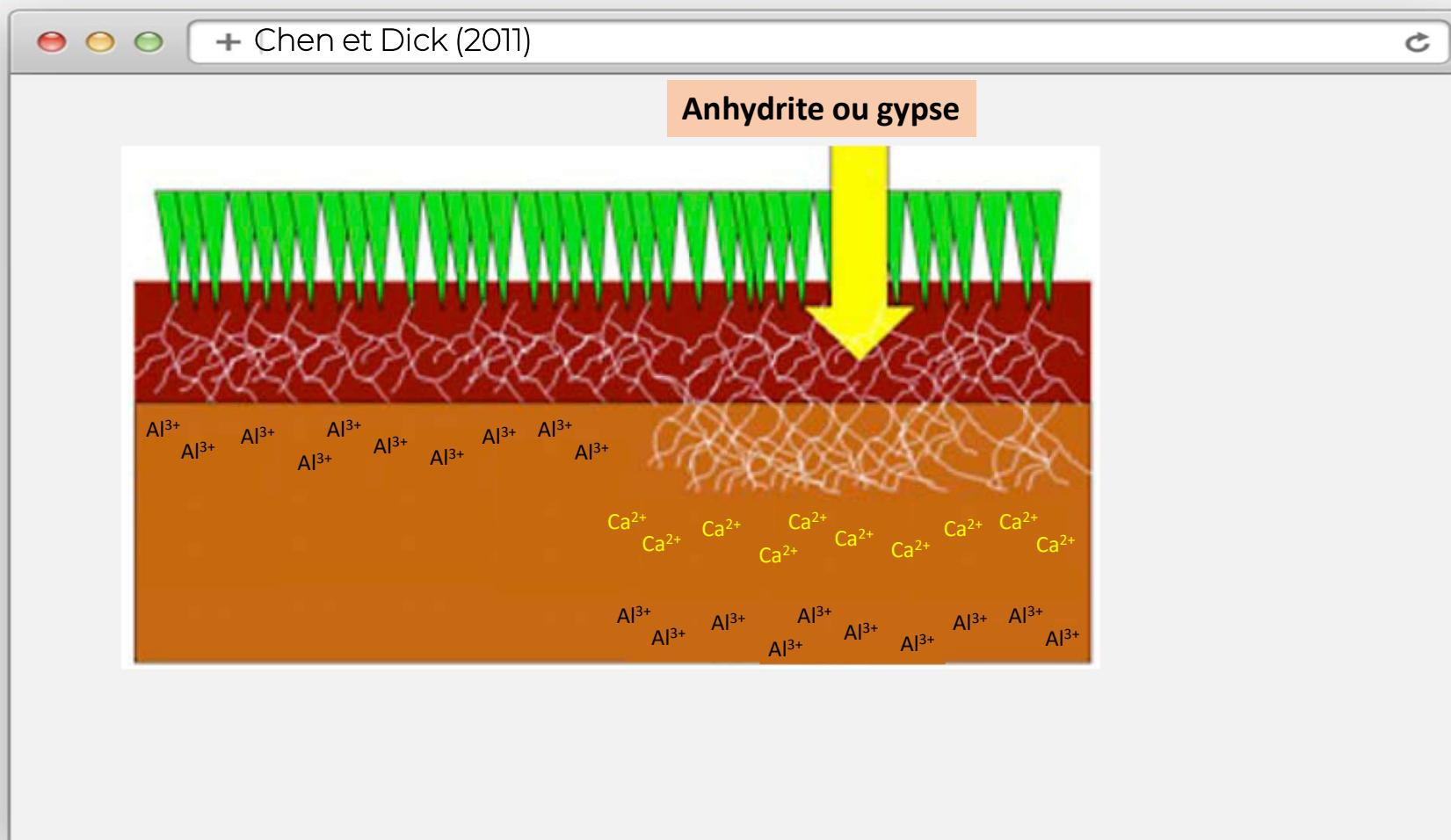
Volet 3: Recommandation d'application

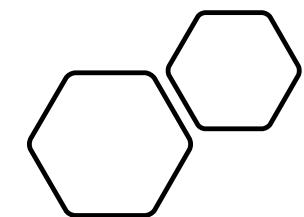




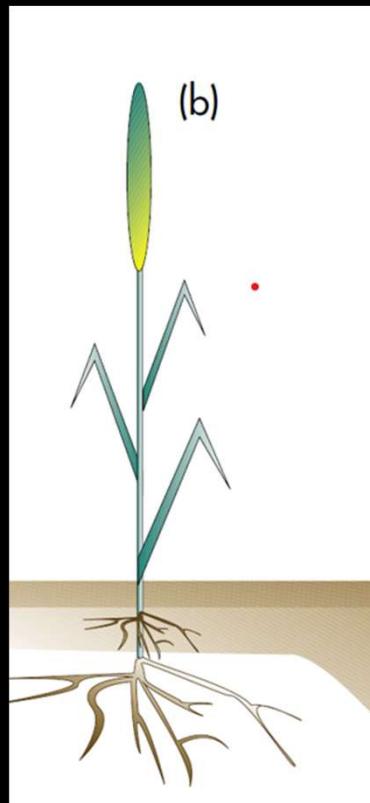
Michel Dignand

Système actuel pour les amendements non chaulants





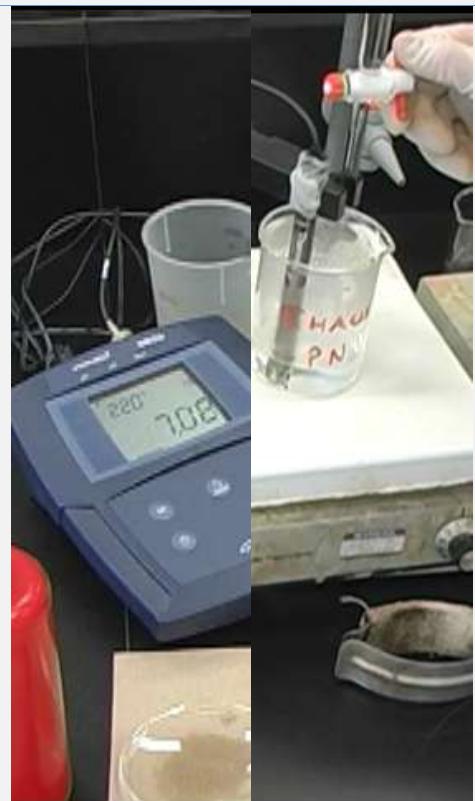
Correction de l'acidité de surface





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 CaCO₃/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

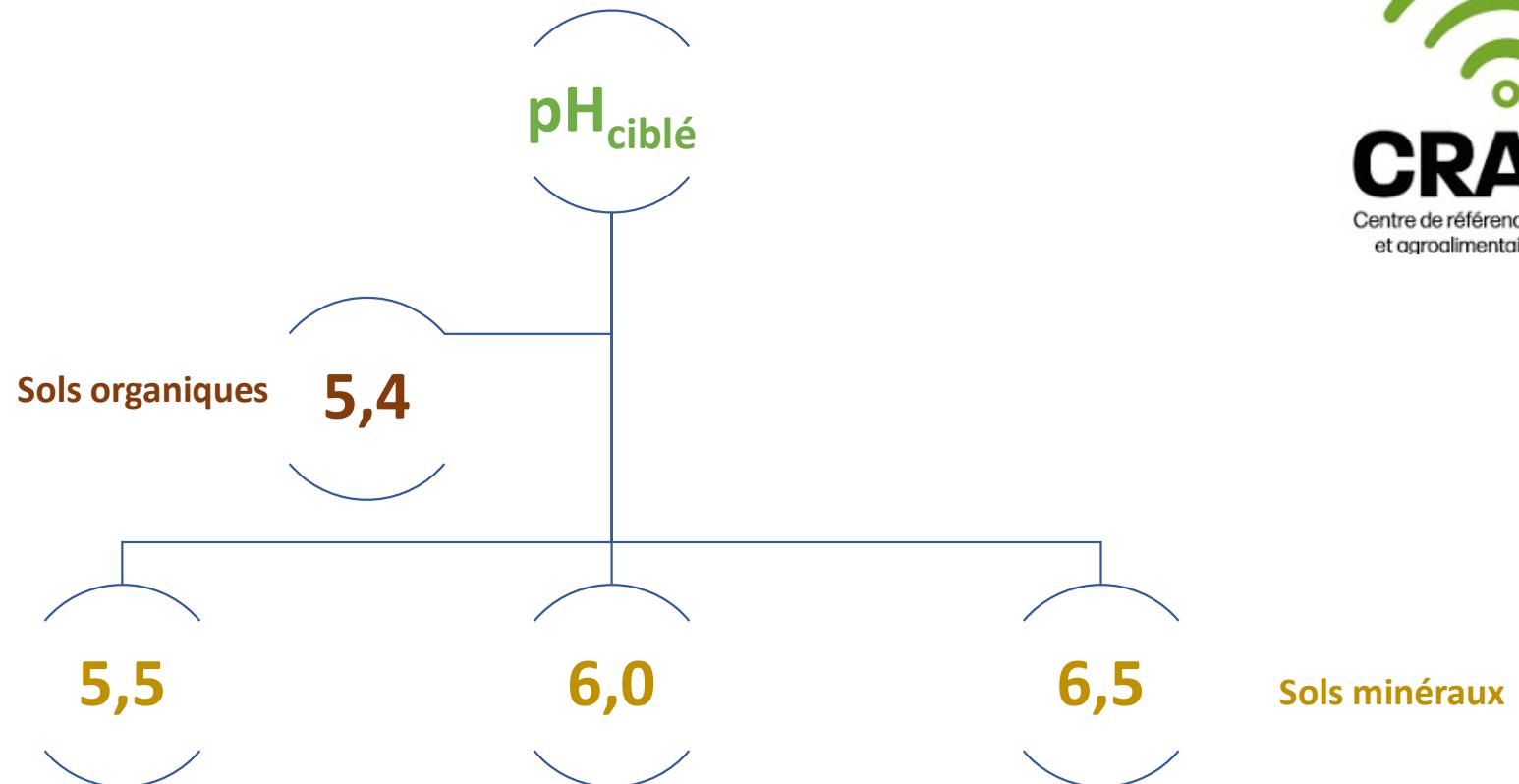
Test de titration t/ha pour atteindre pH 7	Échantillon	dose 1	dose 2	dose 3	dose 4	dose 5	dose 6	dose 7
[4-8]	1	0	0.5	1	2	4	6	10
20 et plus	5	0	4	8	12	20	28	40
[12-16]	6	0	1.5	3	6	9	15	20
0 - 4	13	0	0.25	0.5	1	2	3	6



Tests d'incubation

Comparaison entre les approches

RA



pH ciblé

01

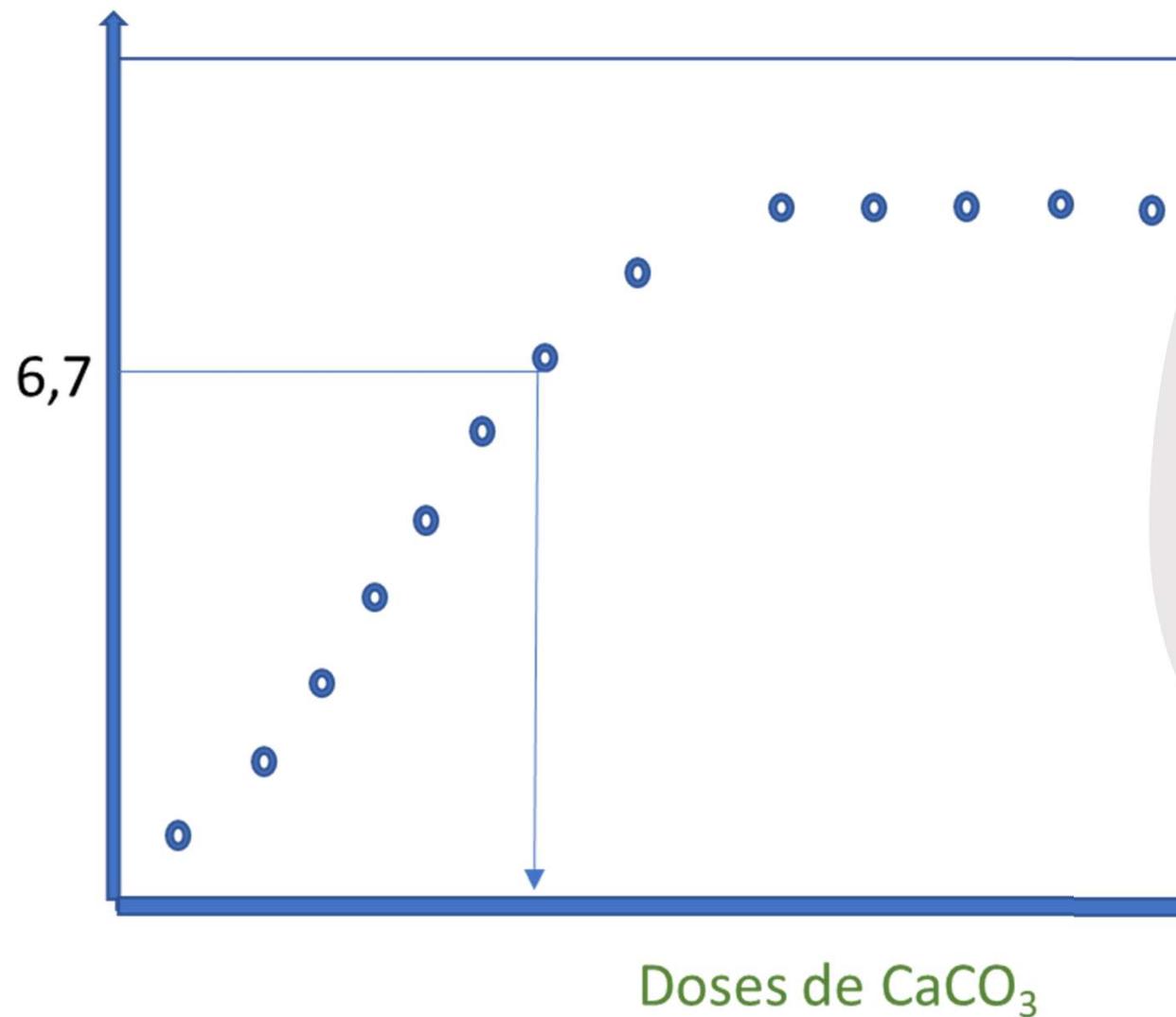
Tableau 3.2 (P148). Besoin en chaux efficace à 100% (100% sec) dans les sols minéraux et organiques
P 91 (CRAAQ, 2010)

Besoin en chaux (BC)

04a

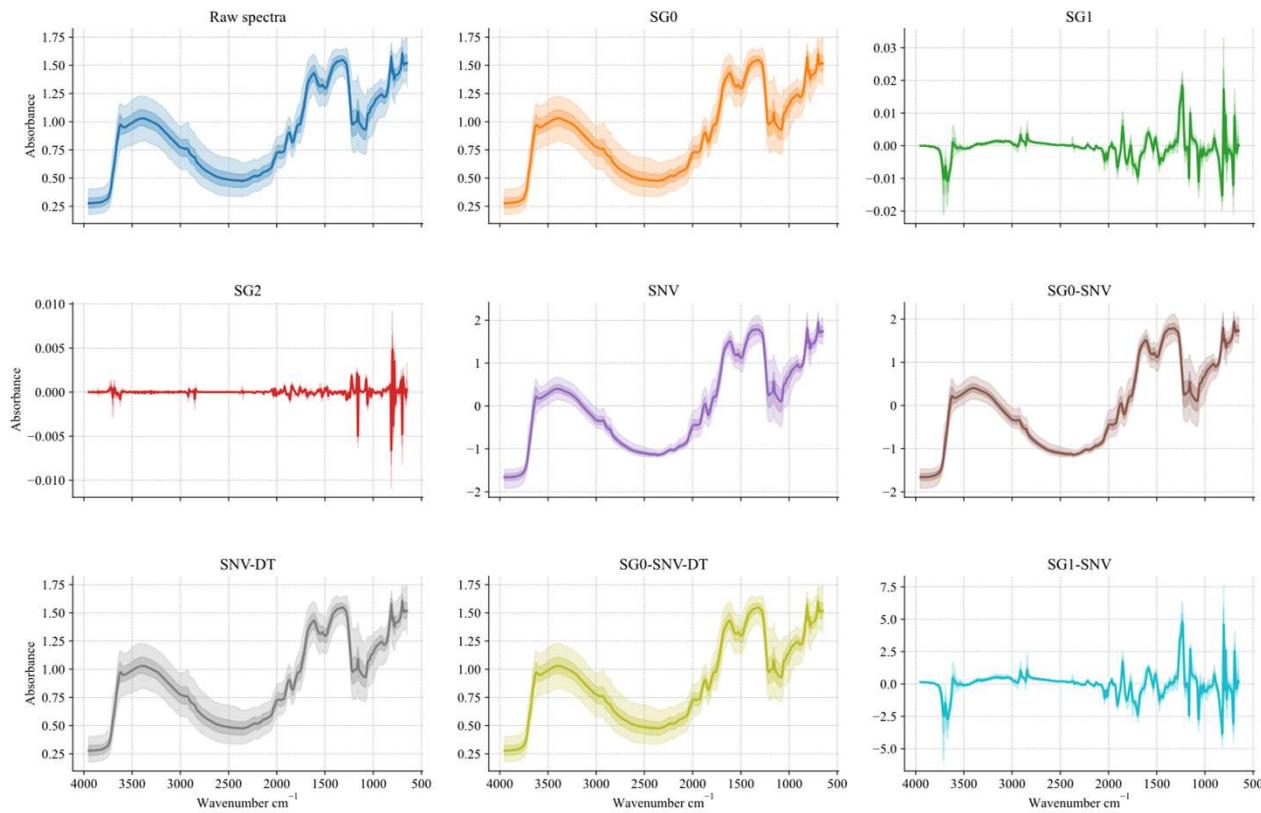
pH tampon	Sols minéraux			Sols organiques	
	pH cible de 5,5	pH cible de 6,0	pH cible de 6,5	pH tampon	pH cible de 5,4
	Besoin en chaux (t/ha)				Besoin en chaux (t/ha)
6,7	1,1	2,0	2,2	6,1	0,0
6,6	1,3	2,5	3,1	6,0	0,0
6,5	1,5	3,0	4,0	5,9	1,1
6,4	1,9	3,5	4,9	5,8	2,2
6,3	2,3	4,2	5,8	5,7	3,4
6,2	2,8	4,8	6,9	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

pH_{eau}



- Nouvelle approche de prescription

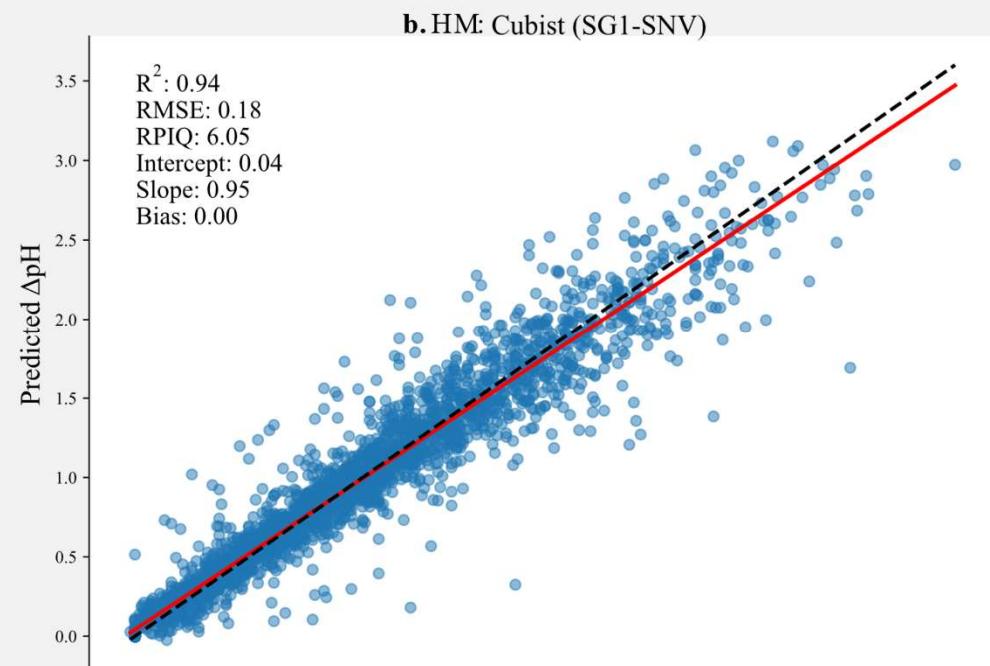
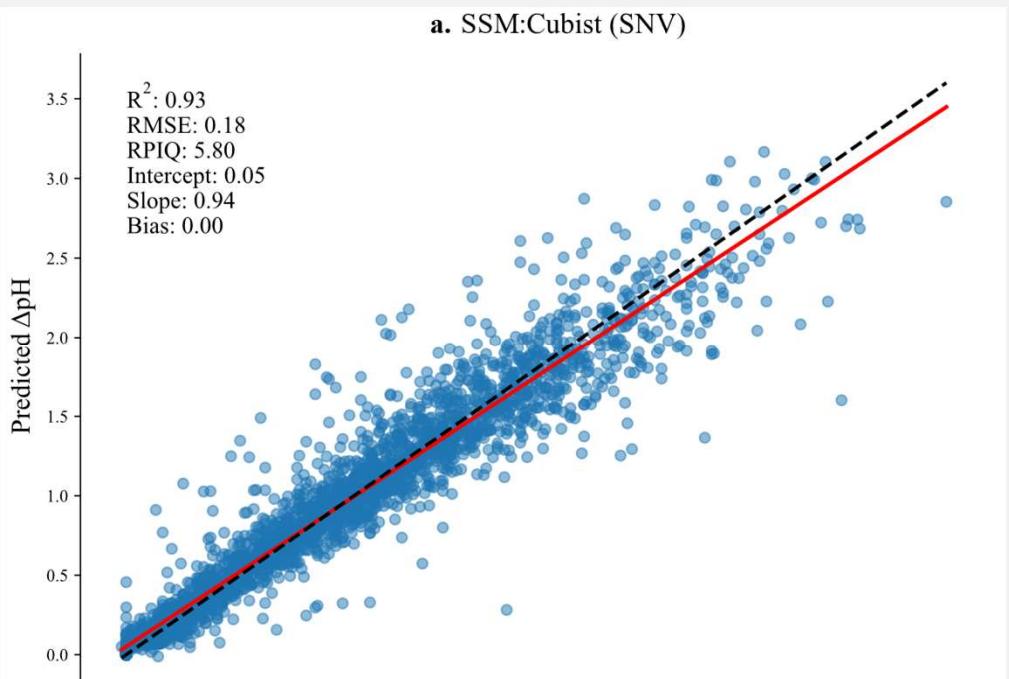
Signature spectrale pour la recommandation





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

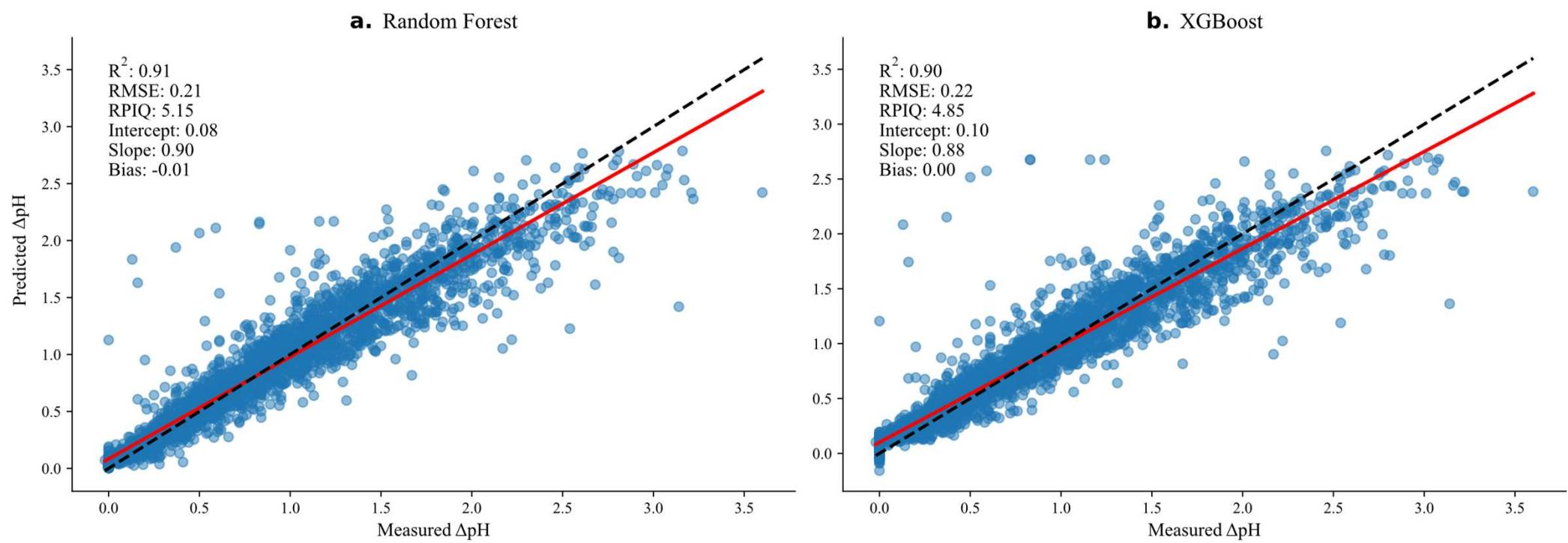
Signature spectrale

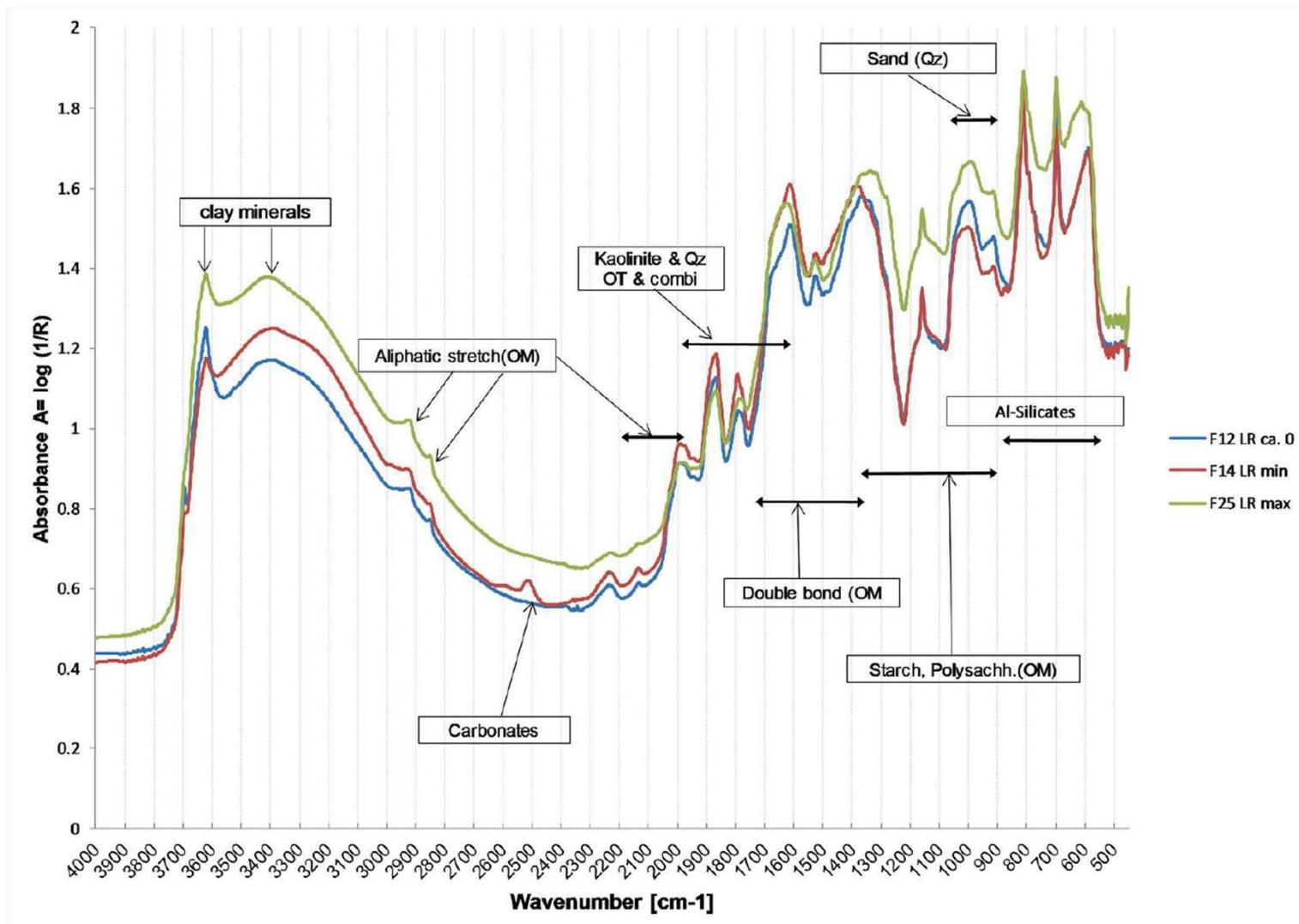




Un modèle de prédiction par IA de la dose de chaux

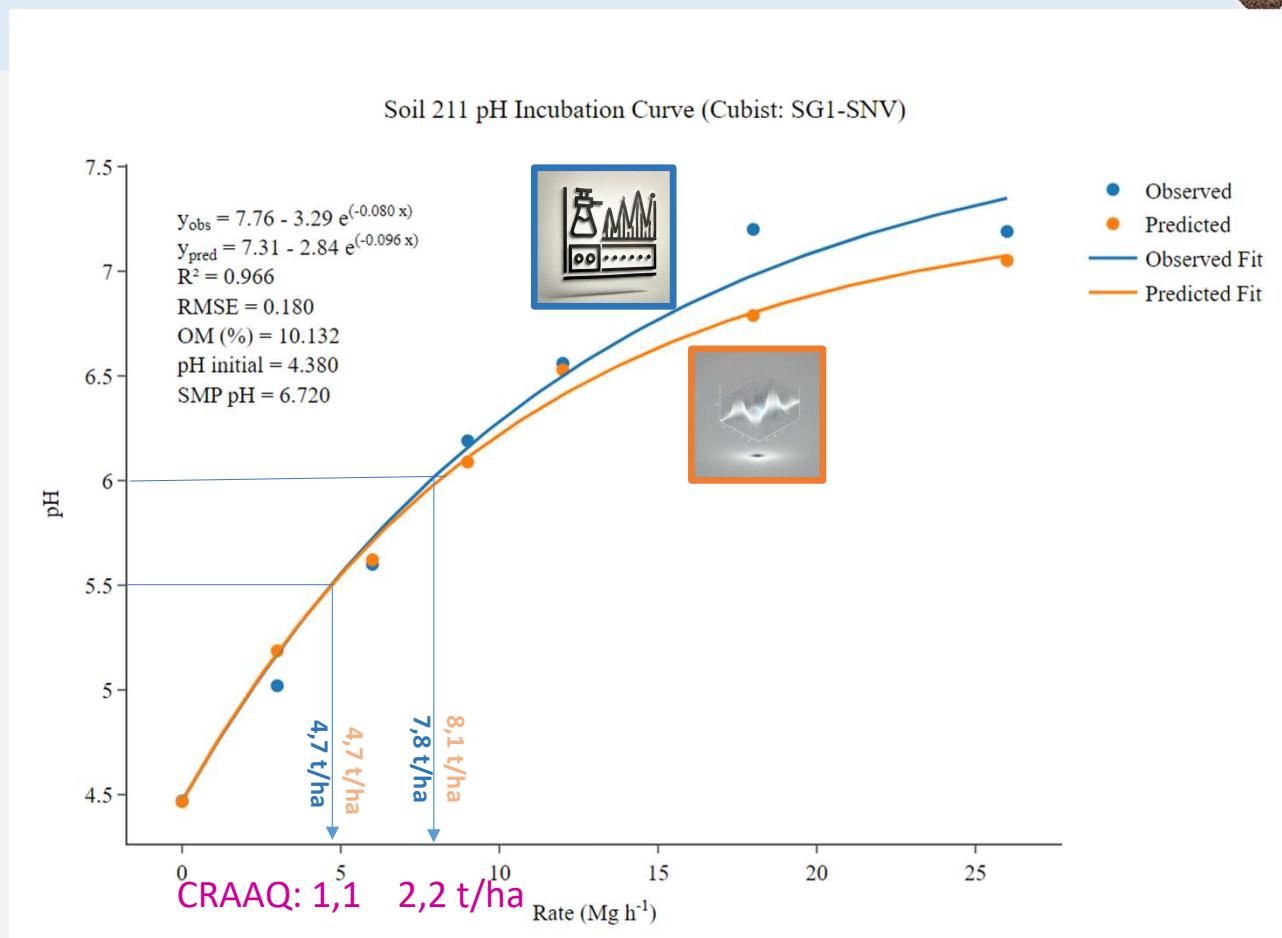
Signature chimique





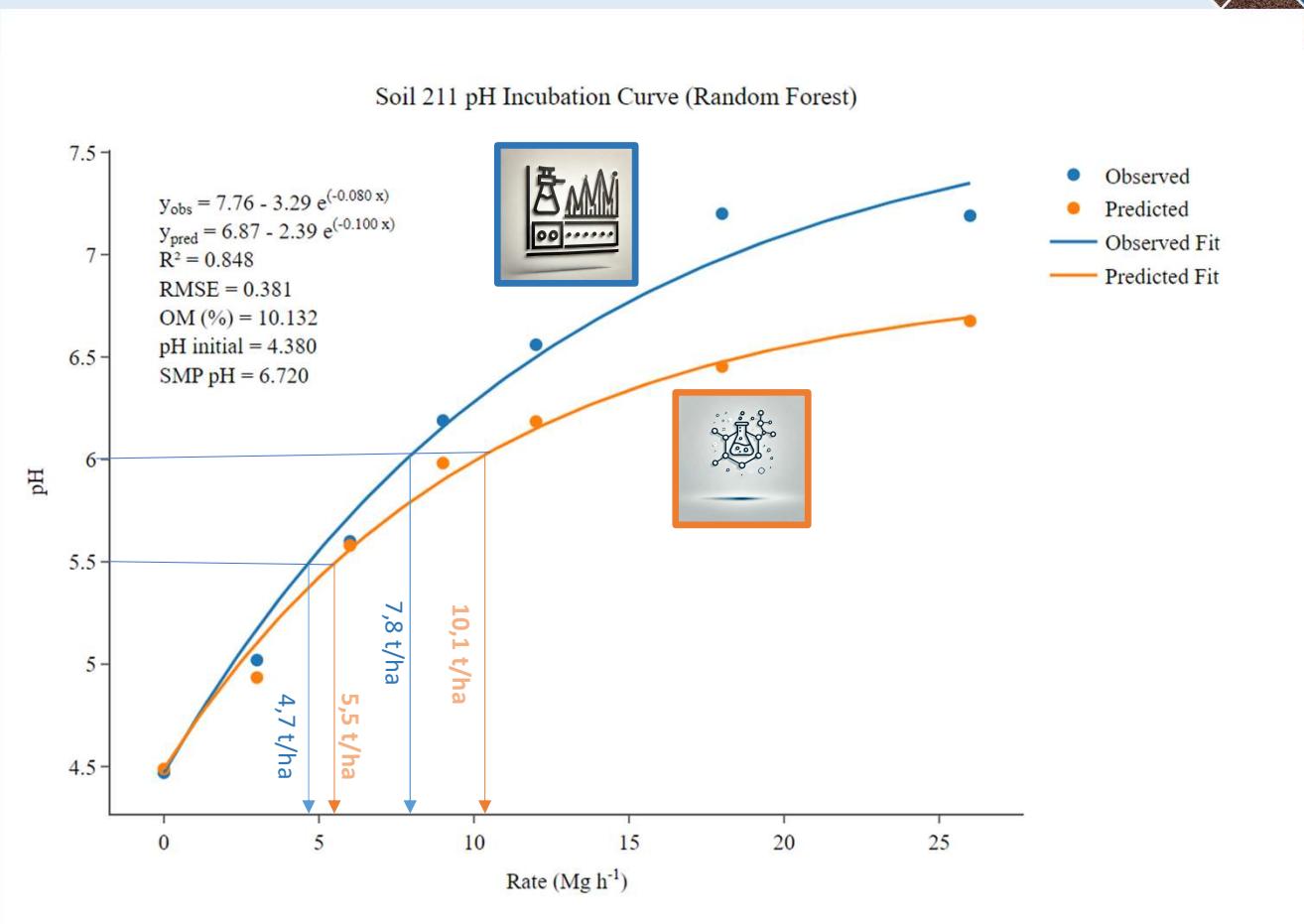


Exemple 1: Ferme Yvon Lessard Prédiction signature spectrale



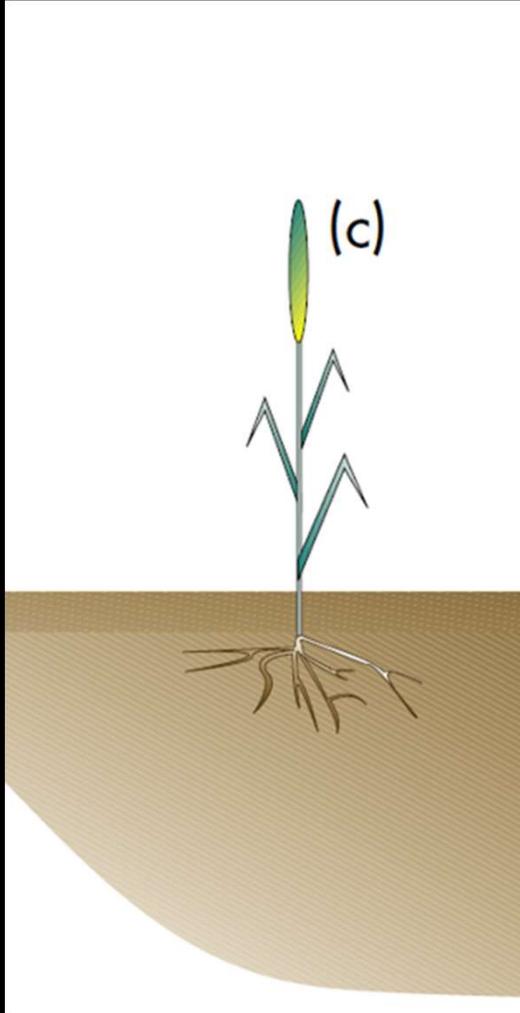
Série Baby

Exemple 1: Ferme Yvon Lessard
Prédiction signature Chimique

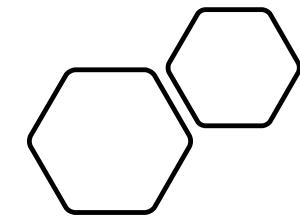


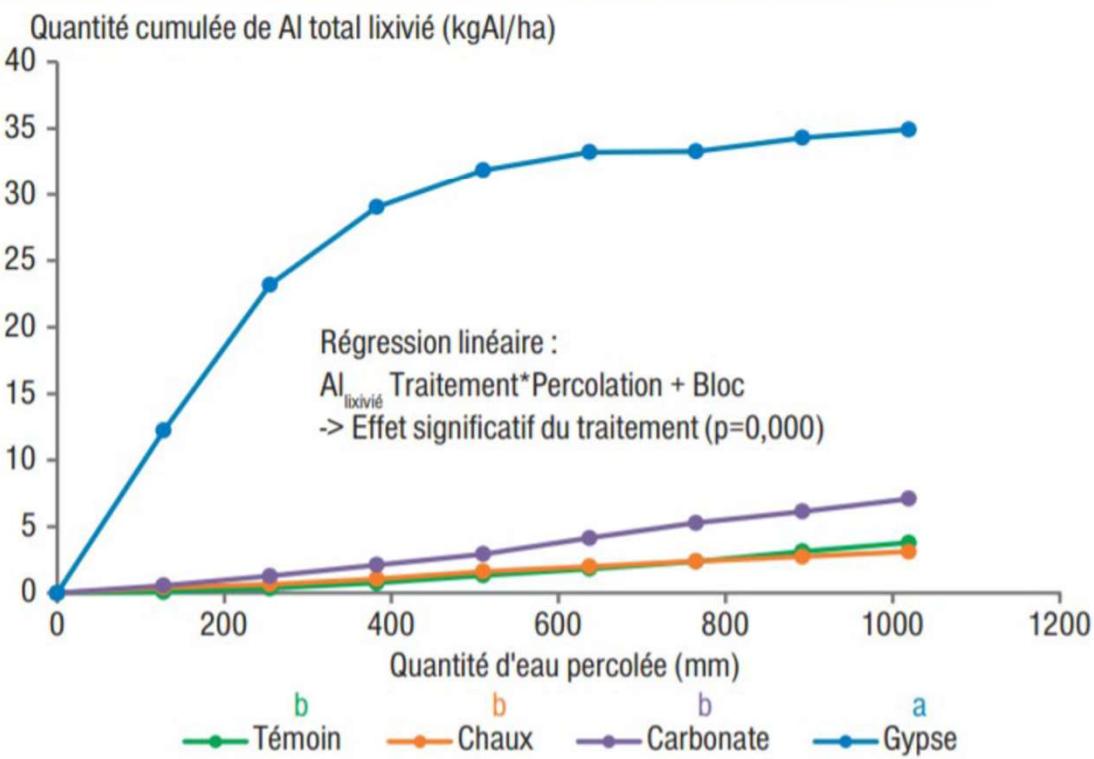
Prédition des doses pour le pH ciblé de 5,5 et 6,0

		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



Rio Tinto (RTA)



Graymont



Omya Canada Inc.