

■ Le programme :

■ 9h30 : Informations et échanges divers.

- 8 et 9 novembre 13^{ème} Rencontres
- Guide de la Fertilisation Raisonnée
- Mise au point d'un Besoin En Bases par Titration : JF Zihlmann
- Thèse sur le chaulage des prairies (Iris Lochon : prochaine réunion)
- Contribution des produits organiques d'élevage à l'entretien du statut acido-basique des sols agricoles français (UNIFA, LHOIST Agriculture, TIMAC Agro).
Méthode de calcul ?
- Dates à retenir :
 - Groupe PK COMIFER : 28/09/2017 – La Défense
 - Réunion du groupe N & S COMIFER : 18/10/2017 - Paris

■ Le programme suite :

■ **10h30** : Evaluation des effets des produits résiduels organiques (PRO) sur le SAB
Alain BOUTHIER (Arvalis), Philippe Cambière (INRA), Bruno Félix-Faure.

Avancées actuelles, échanges.

13^{ème} RENCONTRES COMIFER-GEMAS : vers une mise en forme pour une présentation

Repas

■ **14h - 15h** :

Le point sur le conseil chaulage actuellement en terme de calcul de dose et choix des produits.

Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB .

Les points de divergence.

Vers quels messages s'orienter pour une meilleure crédibilité du groupe.

■ **15h – 16h** : Simone Marx (Ministère de l'Agriculture du Luxembourg) (à confirmer)

Présentation des données sur l'évolution du pH de 4 types de sol.

Ainsi que suite des comparaisons pH_{CaCl2} - pH_{Heau} -pH KCl.

■ Le programme suite :

■ **16H00 – 16H30** : Divers et conclusion

Certains auront peut-être d'autres points à aborder ...

Date prochaine réunion – si Doodle : quelle période ?

Fin vers 16h30

■ 14h - 15h :

- Le point sur le conseil chaulage actuellement en terme de calcul de dose et choix des produits.
- Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB.
- Les points de divergence.
- Vers quels messages s'orienter pour une meilleure crédibilité du groupe.

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

Analyse de terre →

■ Les indicateurs de l'acidité

■ Indicateur pHeau ■ pHKCl (option) → pas d'unité

■ Aluminium Echangeable (sols très acides uniquement) → unité : mg/kg ou cmol⁺/kg

■ Ca/CEC ou ■ (Ca + Mg) / CEC ou ■ S/CEC (taux de saturation) → unité : %

$S = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^{2+}) = \sum$ des cations échangeables, exprimée en meq/kg ou cmol_c / kg

Précision de cet indicateur : → traité par la suite

→ Pour les sols basiques :

■ Calcaire Total → unité : g/kg

Précision moyenne : on ne descend pas en dessous de 1 g/kg de terre

Mesure d'un volume de gaz (dégagement CO₂ : Terre + HCl)



Réalisé au labo à partir de pH ≥ 6,8 (en-dessous pas de mesure du calcaire)

• Carbonates résiduels : méthode spécifique (expérimentation / comparaison AMB)

Même méthode, mais beaucoup de précaution pour gagner en précision

On détecte 70 mg/kg de CaCO₃ – on quantifie 200 mg/kg de CaCO₃

On a mis en évidence la présence de carbonate en très faible quantité, même pour des pH < 6,8

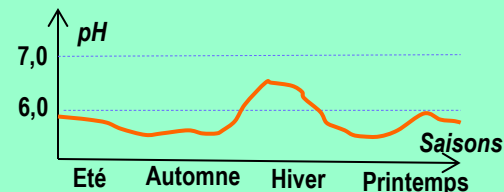
■ Calcaire actif → unité : g/kg (extractif : oxalate d'ammonium)

Réalisé au labo à partir de 20 g/kg de calcaire Total

Important en viticulture/arboriculture : choix porte-greffe.

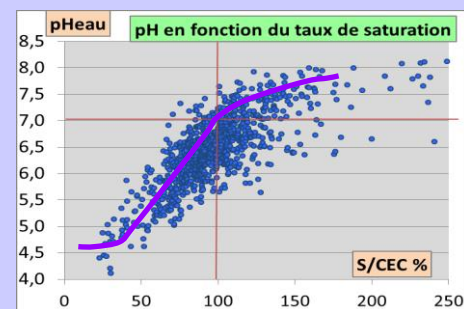
• pH_{eau} :

- Forte variabilité saisonnière
- L'interprétation du pH doit nécessairement faire intervenir la date de prélèvement.
- Paramètre analytique essentiel de l'analyse traduisant l'ambiance chimique du sol au moment



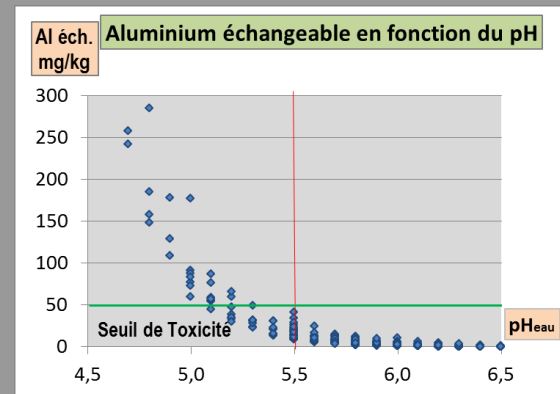
• S/CEC :

- Moins sujet aux variations saisonnières
- Assez bien corrélé avec le pH eau
- Pour les faibles CEC (sol sableux – sablo-limoneux), cet indicateur présente une précision insuffisante pour être pertinent
- Quelques situations présentant des discordances entre l'indicateur pH et l'indicateur S/CEC



• Aluminium échangeable :

- Indicateur intéressant dans les situations franchement acides (pH eau < 5,8)
- **Traduit le risque réel d'accident dû à une acidité importante**
- Dans les sols à forte teneur en matière organique (MO) son interprétation est rendue plus délicate. Difficulté à connaître la réelle proportion d'Al. éch. qui serait séquestrée par la MO

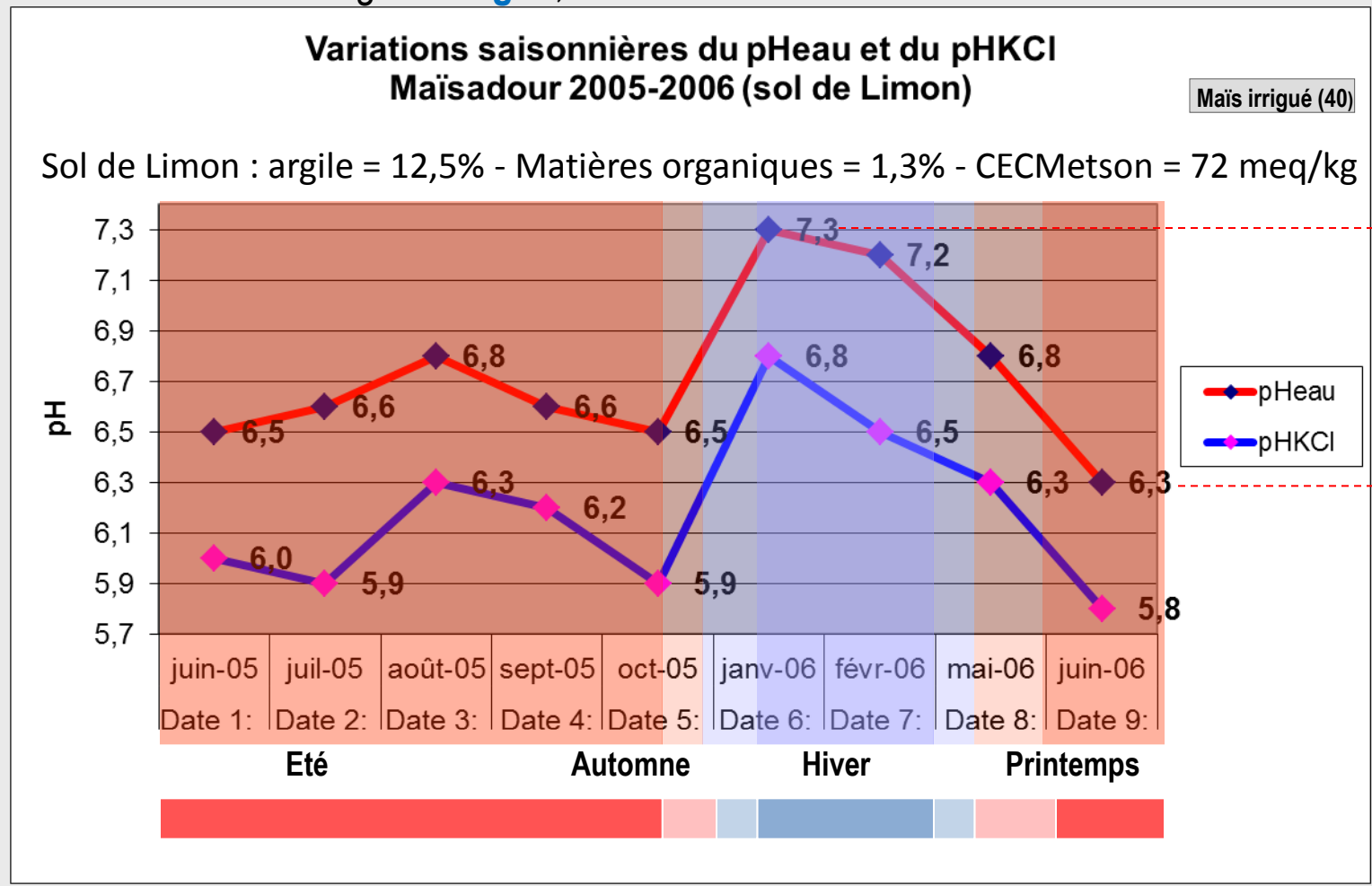


→ Le pHeau

■ Variations saisonnières de l'indicateur pH

Les périodes favorables à l'activité biologique correspondent à une acidification du sol

Exemple d'un suivi du pHeau et pHKCl sur une parcelle (9 dates de prélèvements)
Monoculture Maïs grain **irrigué**, commune de St SEVER 40500



Variations saisonnières de l'indicateur pH

Explications :

● Printemps, été et automne :

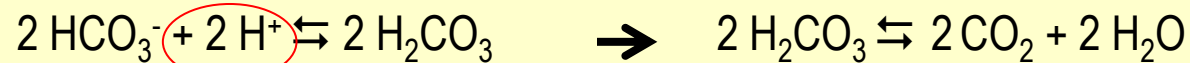
→ Respiration des microorganismes et des racines (CO_2)

→ Augmentation de la concentration en acide carbonique ($2 \text{HCO}_3^- + 2 \text{H}^+$)
de la solution du sol

→ Conséquence : diminution du pH.

→ Cette acidification n'est pas durable :

- progressivement l'acide carbonique se rééquilibre avec l'atmosphère



- le pH remonte par la suite

- cette remontée peut être partielle s'il y a lixiviation des ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-)

- Les indicateurs de l'acidité → Remarque sur le pH_{KCl} :

Les sols français présentent un pH_{KCl} toujours inférieur au pH_{eau} .

- Cette différence est de l'ordre de 0,5 à 1,0 point.

-Le pH_{KCl} a une variation saisonnière similaire à celle du pH_{eau} .

- Il est faux de dire :

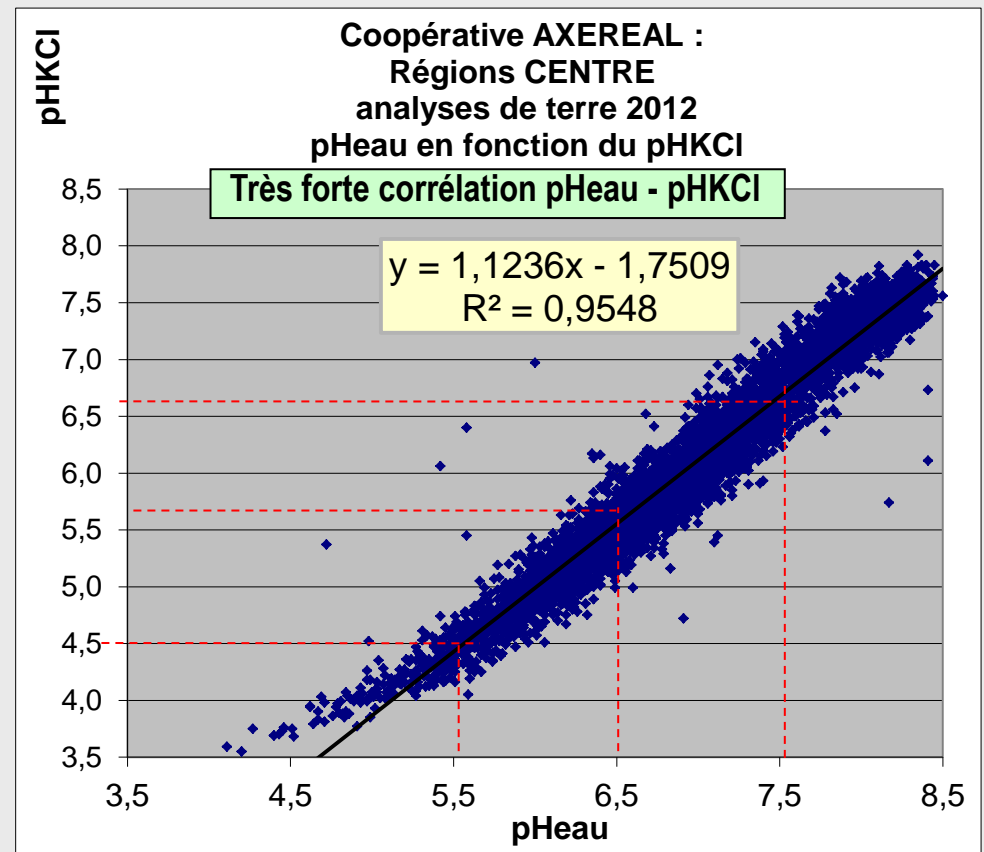
« Le pH_{KCl} indique la valeur minimale que le pH_{eau} atteindra après acidification ».

- Réalisés sur campagne 2012

- Ecart $\text{pH}_{\text{eau}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$ de l'ordre de 1,0 point.

- En sol calcaire, l'écart entre les 2 pH tend à se resserrer.

- Les sols très acides correspondent en majorité à des sols sableux (Sologne).



■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

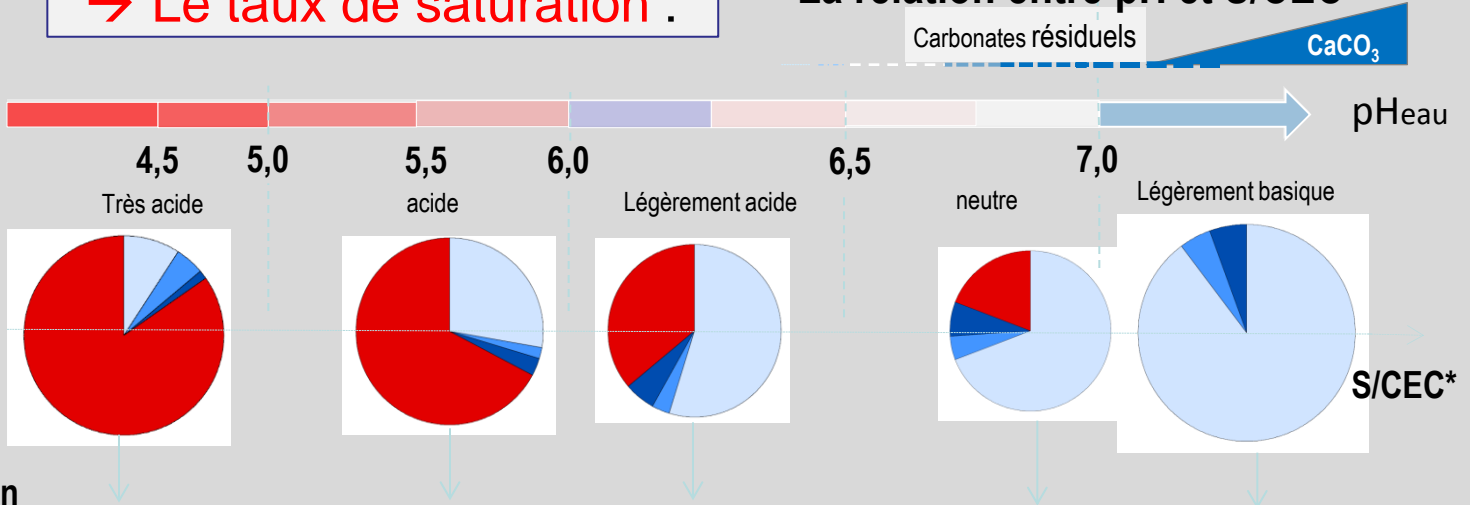
■ Les indicateurs de l'acidité

→ Le taux de saturation :

• La relation entre pH et S/CEC

- Ca²⁺
- K⁺
- Mg²⁺
- Na⁺
- H⁺

La taille du cercle est proportionnelle à la valeur de la CEC Metson



Réf. analyse	2012086589	2012016055	2011101207	2012016068	2012038754
Code postal-Commune	56110 LE SAINT	29140 TOURC'H	29100 POULDERGAT	56520 GUIDEL	29750 LOCTUDY
pHeau	4,4	5,7	6,1	6,9	7,3
CaO mg/kg	344	1000	1779	1744	4466
CEC meq/kg	134	128	116	90	157
S/CEC %	15	33	64	81	112
CaCO3 total g/kg	0	0	0	0	4,1

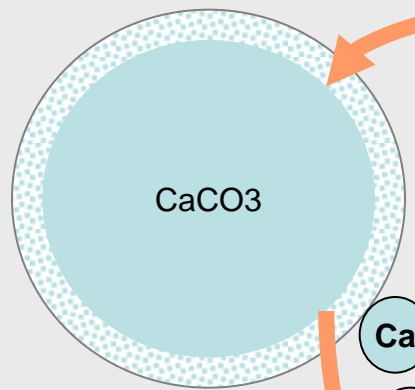
5 analyses de sol en provenance des départements 29 et 56

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

Taux de saturation supérieur à 100% en sol calcaire : explication

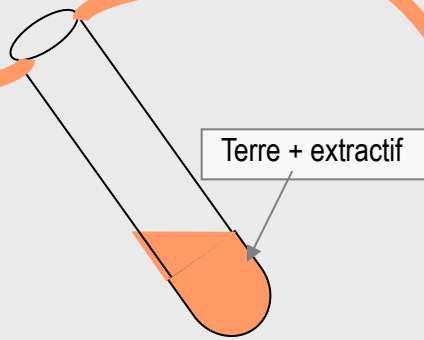
■ Les indicateurs de l'acidité

Particule de carbonate de calcium



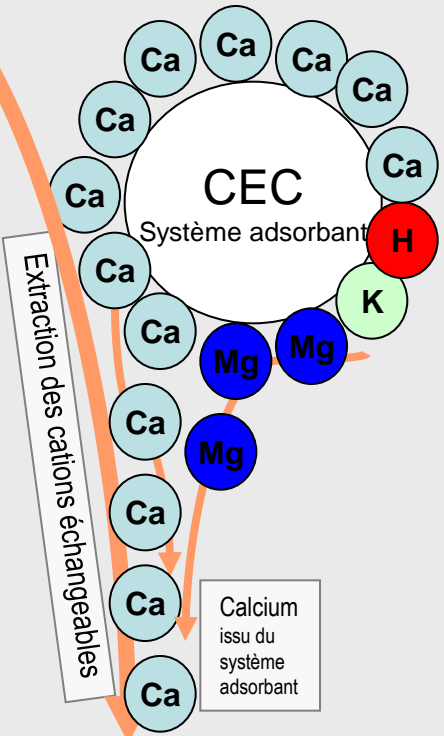
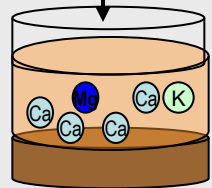
L'extractif dissout en surface la particule de carbonate

Calcium issu des particules de carbonates



Extractif Acétate d'ammonium

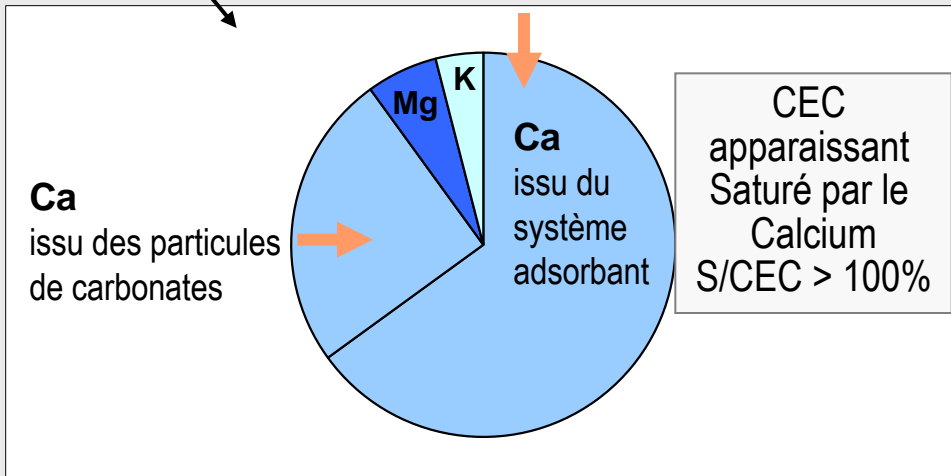
Agitation, décantation, dosage des cations échangeables



Extraction des cations échangeables

Calcium issu du système adsorbant

La présence de particules de carbonate non dissoutes entraîne une surestimation du calcium échangeable (CaO éch.) et donc une surestimation de Ca/CEC



CEC apparaissant Saturé par le Calcium S/CEC > 100%

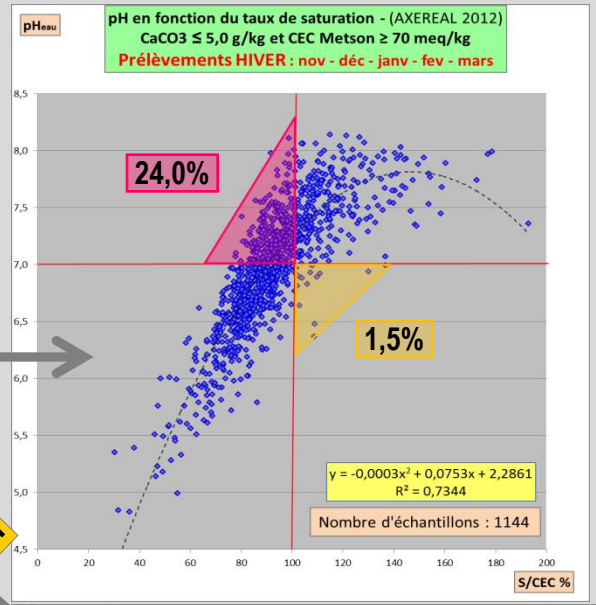
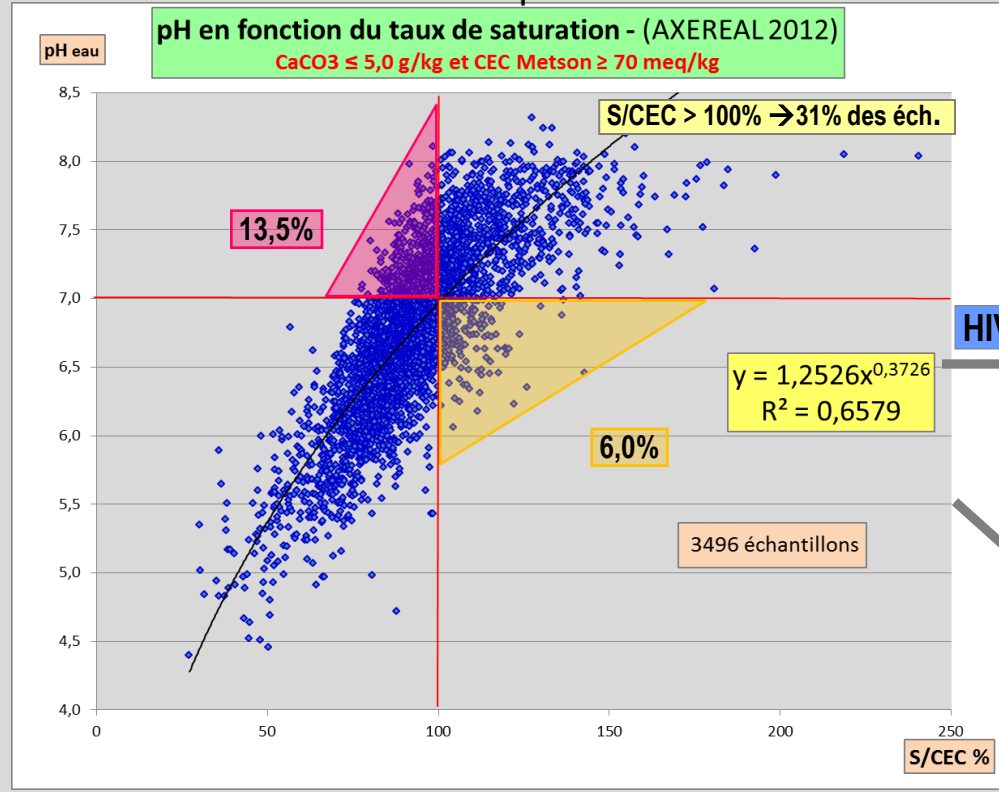
■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

■ Les indicateurs de l'acidité

→ Le taux de saturation :

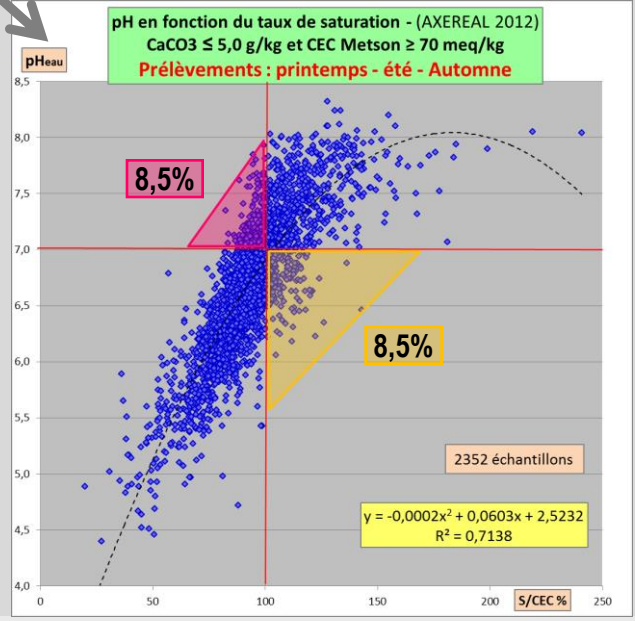
- La relation entre pH et S/CEC

Exemple 1 : Coopérative AXEREA analyses de sol 2012
pHeau en fonction du taux de saturation – 2^{ème} approche



HIVER

ETE



● Suppression des éch. avec : - CaCO₃ total > 5,0 g/kg et
- CECMetson < 70 meq/kg

Les prélèvements d'hiver présentent le % le plus important de discordance :

- pH hiver + élevé
- 24% de situations avec : S/CEC < 100% et pH > 7,0

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

■ Les indicateurs de l'acidité

- Il peut y avoir discordance entre l'indicateur pH et le taux de saturation

Différentes raisons peuvent expliquer les discordances entre l'indicateur pHeau et S/CEC :

1

-L'indicateur S/CEC (soit $[Ca + K + Mg + Na]/CEC \cdot 100$) ne présente pas une grande précision, car s'additionnent et se multiplient la précision de chaque paramètre. Ainsi pour les petites CEC (< 60 me/kg), le diagnostic S/CEC est peu pertinent.

2

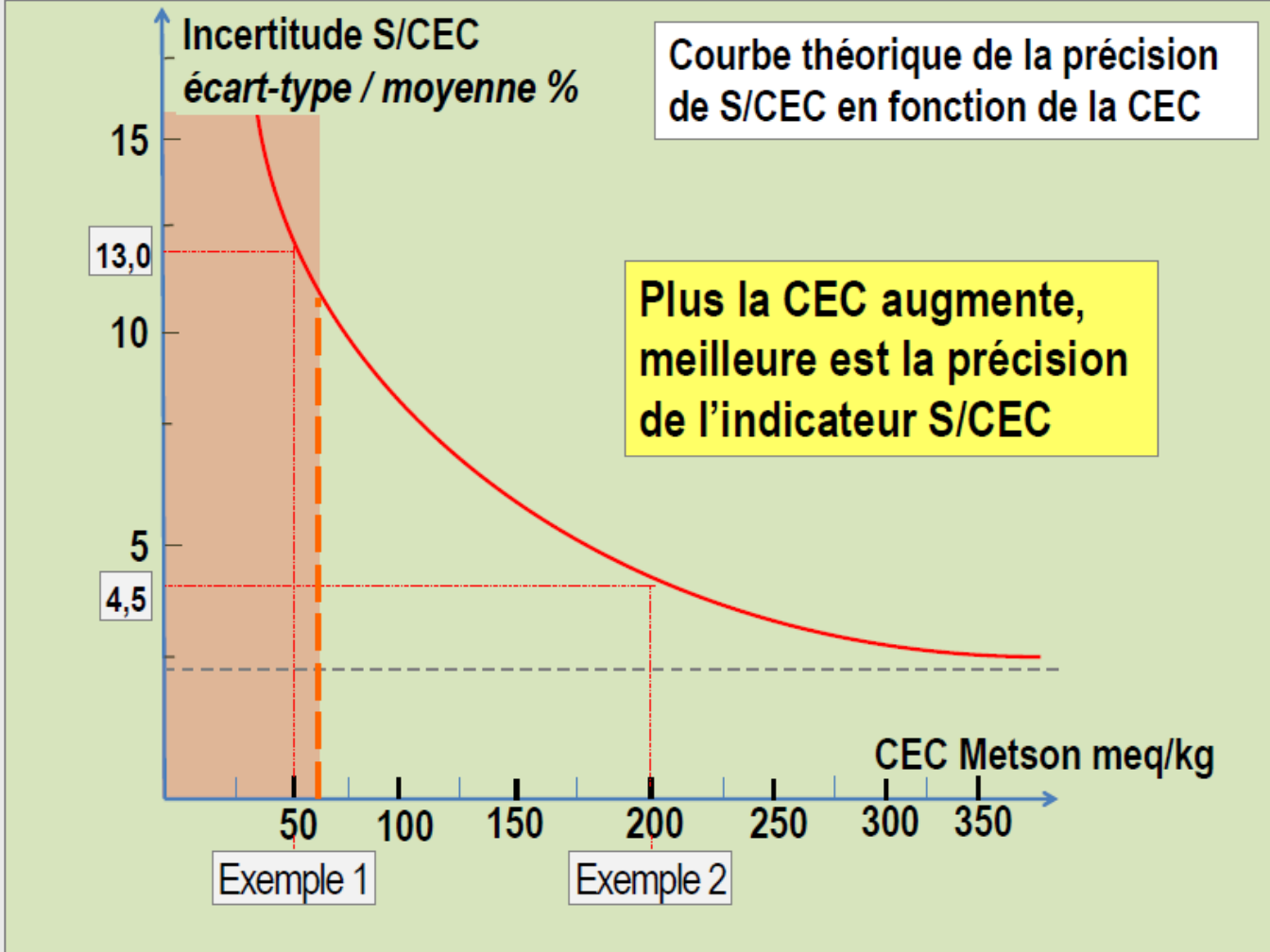
-La variation saisonnière du pHeau entraîne qu'en fonction de la date de prélèvement, les 2 paramètres peuvent être discordants à un moment donné.

3

-L'historique des apports d'amendements minéraux calciques basiques, mais aussi des apports de fientes de poules pondeuses (*par exemple*), peuvent être à l'origine de la présence de particules de carbonate non dissoutes au moment du prélèvement, qui vont entraîner une surestimation du calcium échangeable et donc du taux de saturation.

La précision du taux de saturation entraîne ces problèmes de discordance

- Sol sableux ou sablo-limoneux
- faible CEC Metson
- Indicateur S/CEC précision médiocre
- S/CEC peut être
 - surestimé
 - sous-estimé
- D'où discordances avec l'indicateur pH_{eau}

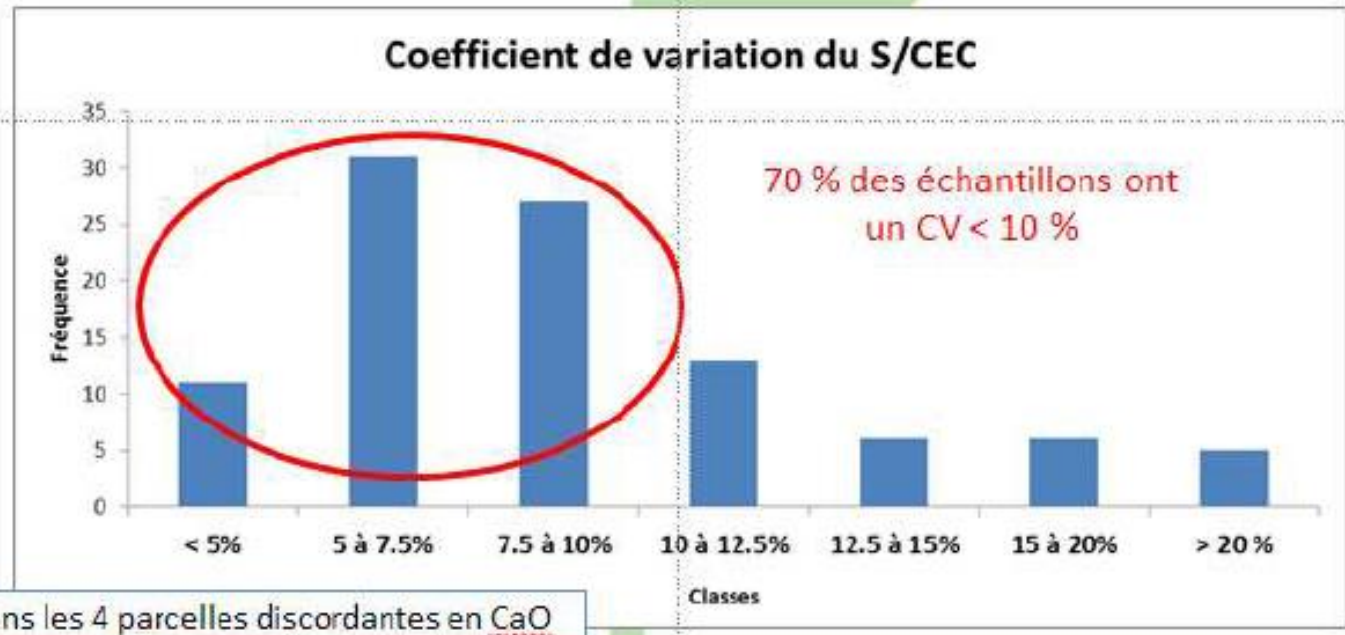


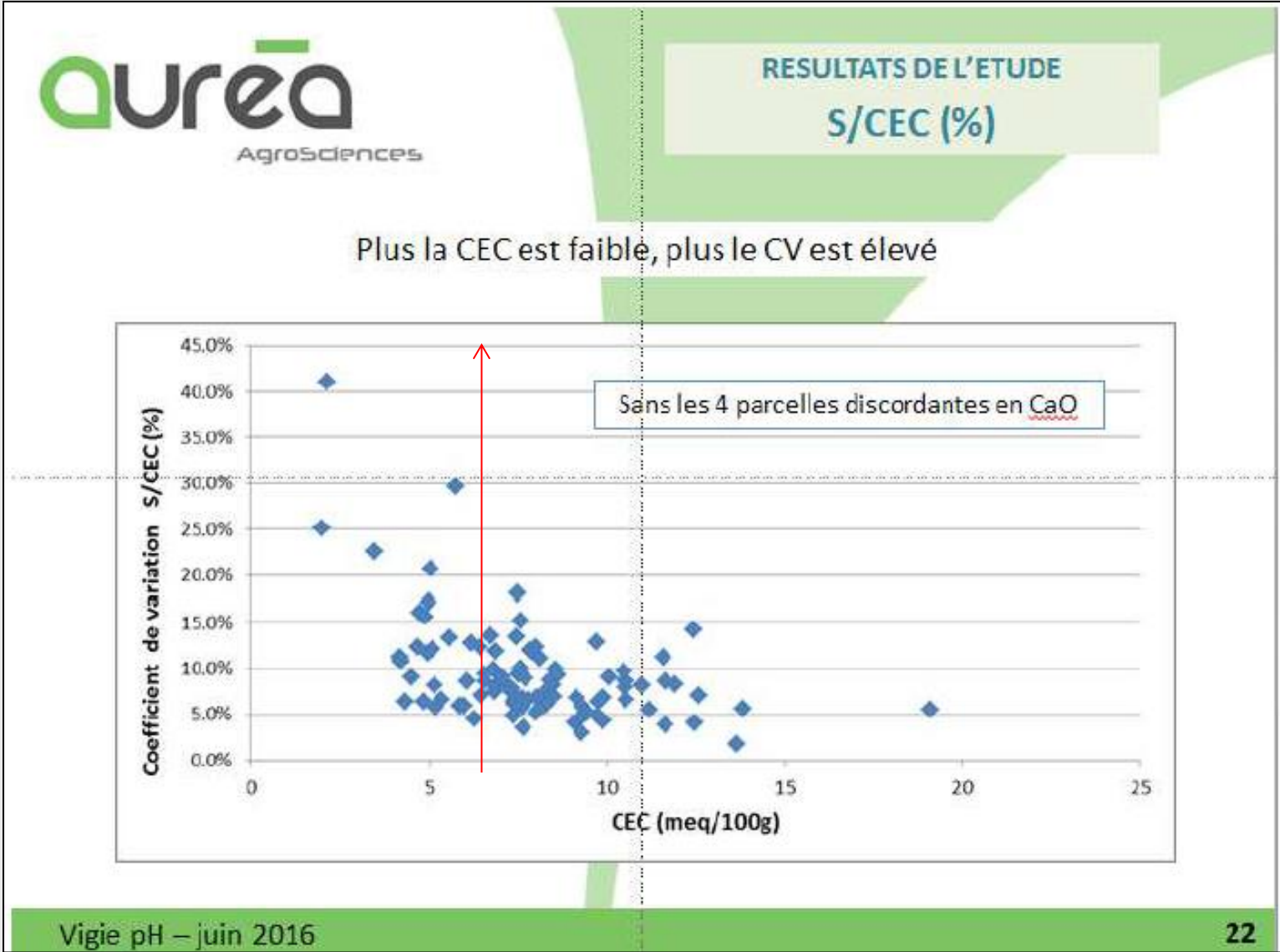
Sol sableux ou sablo-limoneux : raisonner le chaulage à partir de l'indicateur pH_{eau} seul



RESULTATS DE L'ETUDE S/CEC (%)

Utilisation des 5 mesures (Galys Brut, Galys Tamisol, LDAR brut, LDAR Tamisol, Auréa) pour faire moyenne, écart type et coefficient de variation pour chaque échantillon.

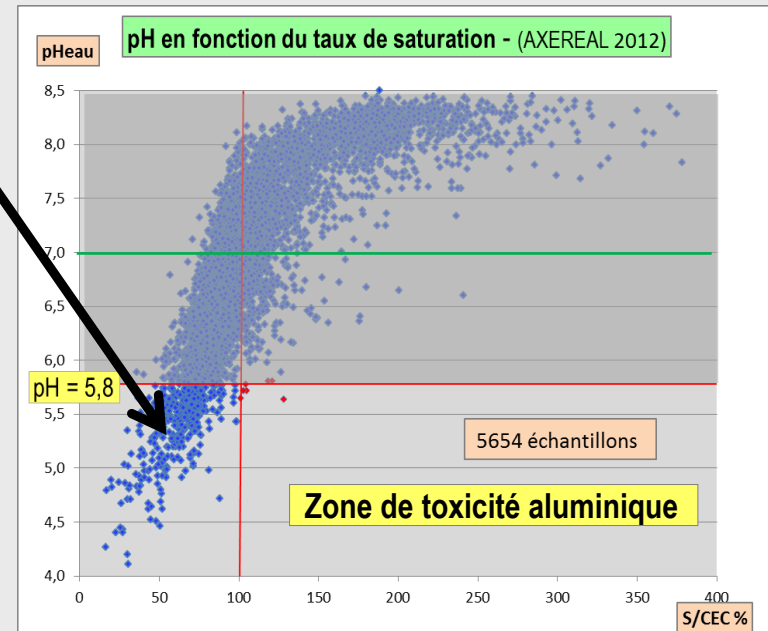




■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

■ Les indicateurs de l'acidité

- En sol acide ($\text{pH} < 5,8$: zone de risque de toxicité aluminique) les indicateurs pH et S/CEC vont toujours dans le même sens



- Si discordance entre indicateurs pHeau et S/CEC , le conseil sera basé sur une politique intermédiaire.

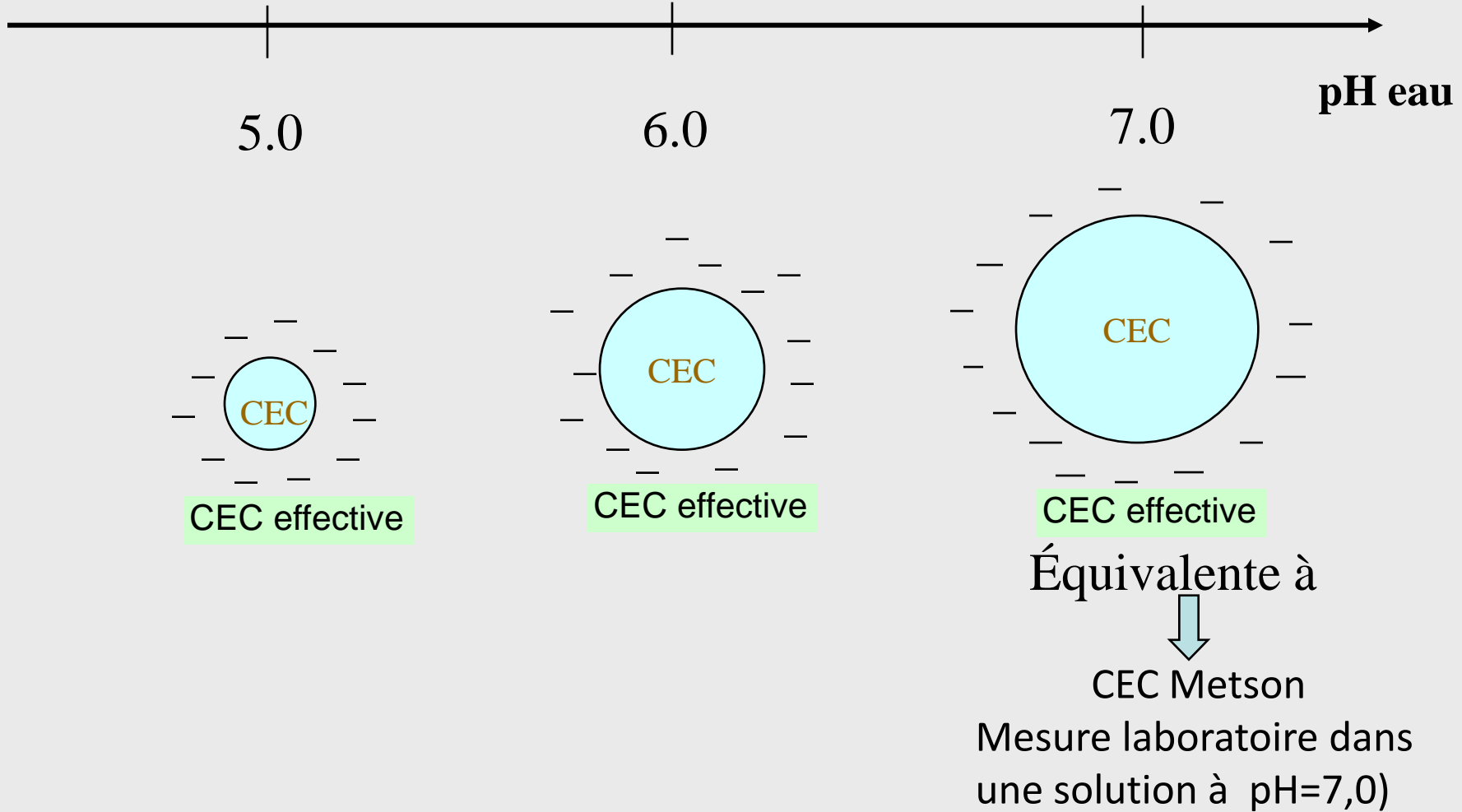
Pratique de l'amendement, compromis entre :

→ coût économique (risque d'en apporter trop).

→ risque d'inefficacité (risque de ne pas en apporter assez).

CEC Metson et CEC effective

▪ Pour un même sol, l'élévation de pH entraîne l'augmentation de la CEC effective



● chaulage et augmentation de la CEC effective

Quantités ↑

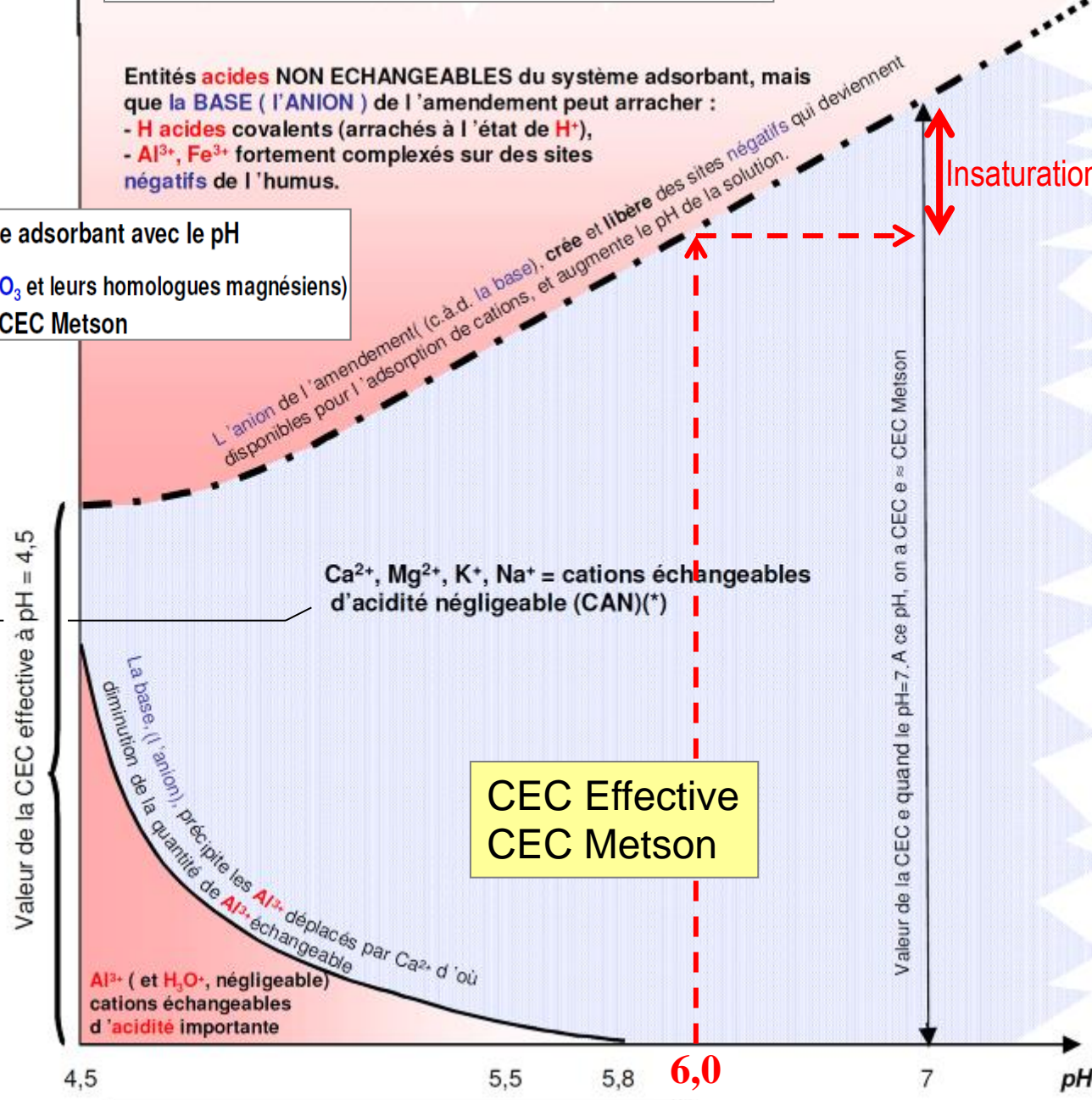
Entités **acides** NON ECHANGEABLES du système adsorbant, mais que la **BASE** (l'ANION) de l'amendement peut arracher :
- **H acides** covalents (arrachés à l'état de H^+),
- Al^{3+} , Fe^{3+} fortement complexés sur des sites négatifs de l'humus.

● Évolution de la garniture du système adsorbant avec le pH
■ Effet d'un amendement basique (ex : CaO ; $CaCO_3$ et leurs homologues magnésiens)
● CEC effective (CEC e) et CEC Metson

Légende :
L'ordonnée de la courbe **— · — · —** représente la CEC effective, (CEC e) c'est à dire la charge cationique échangeable présente dans le sol dont le pH a la valeur portée en abscisse.

Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+
Al^{3+}

(*) Leur proportion sur le système adsorbant augmente avec le pH. Ils permettent aux sites **négatifs** sur lesquels ils sont adsorbés, d'exprimer leur **basicité** qui est d'autant plus forte que la proportion des CAN est plus forte. Cela explique que le **pH** et le **taux de saturation** par rapport à la CEC mesurée à une valeur quelconque du pH varient dans le même sens (mais sans être proportionnels).

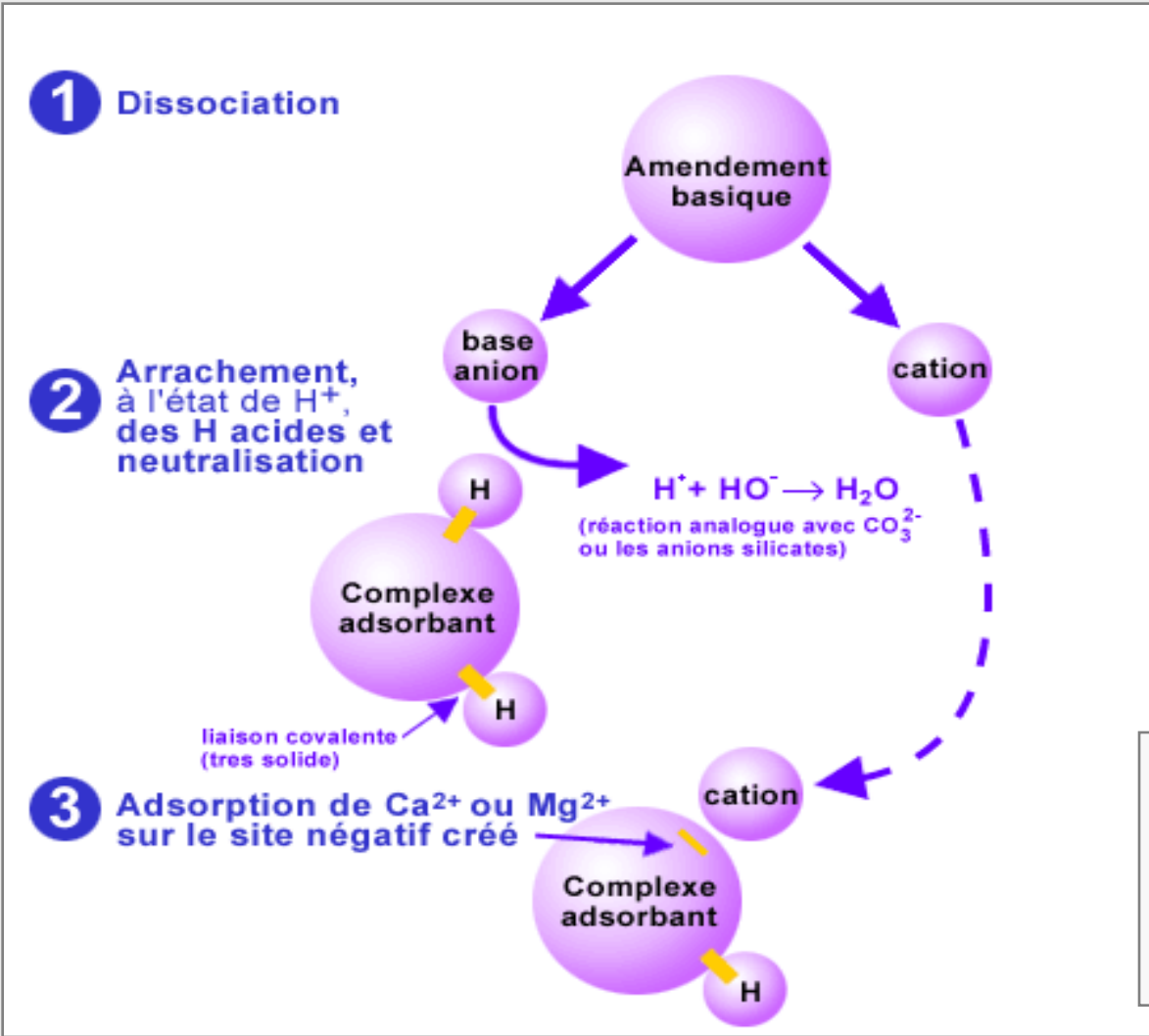


CEC Effective
CEC Metson

CEC Metson

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

■ Mode d'action d'un amendement basique



Ce n'est pas le calcium qui chaule, mais la base associé au calcium

L'efficacité d'un amendement basique tient de l'action de sa base, l'anion O^{2-} , HO^- , CO_3^{2-} ou silicate. Le cation, Ca^{2+} ou Mg^{2+} ne fait qu'accompagner.

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

Raisonnement du chaulage :

→ Chaulage de redressement : méthode et formules

→ Chaulage d'entretien :

- Abandon de l'entretien calcique (exportation et perte en calcium)
- Nouvelle approche : le bilan protons.

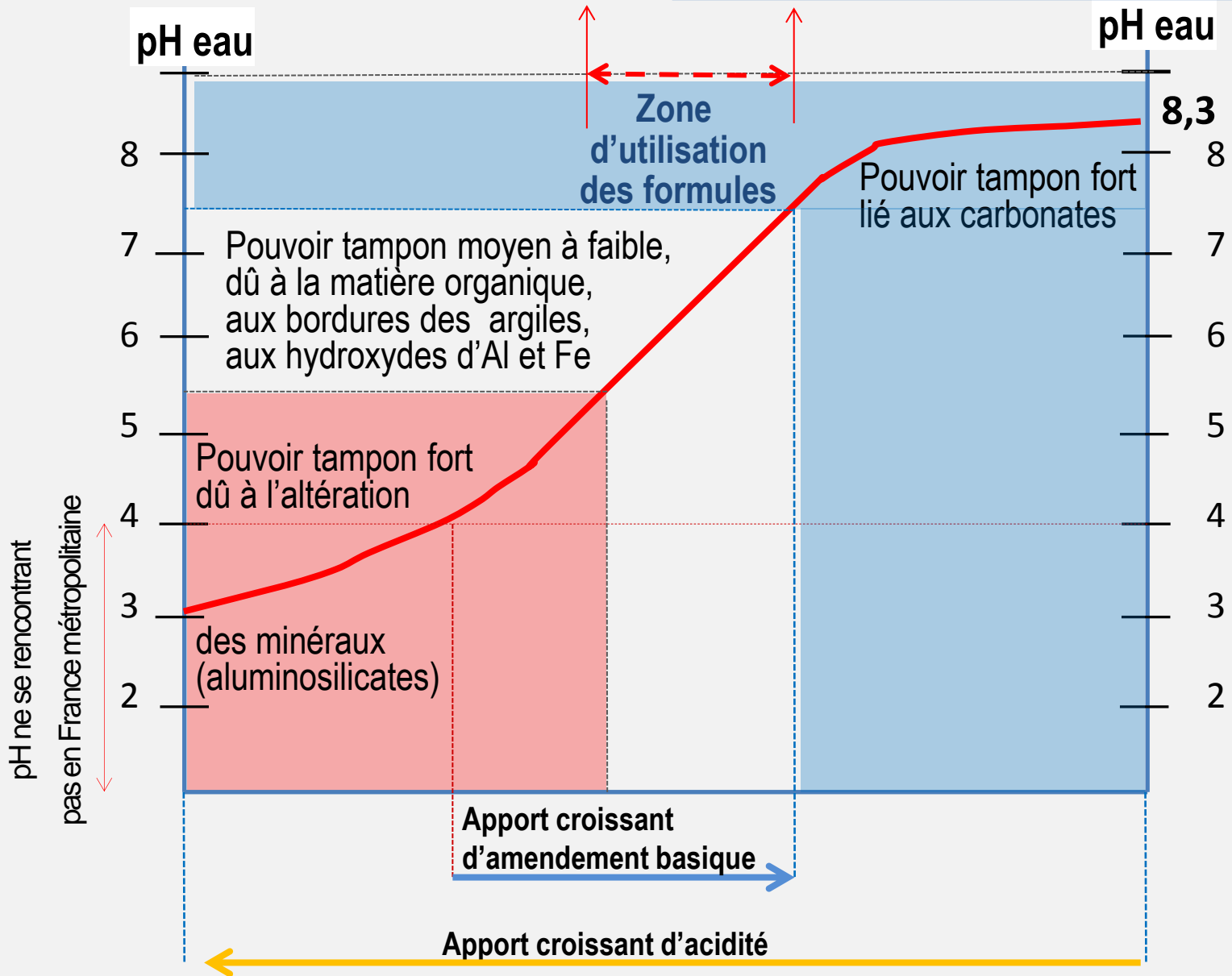
Consensus sur le principe

Intéressant sur un plan pédagogique

Grande difficulté pour modéliser ce bilan protons

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

Chaulage de redressement : méthode et formules



■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

Chaulage de redressement = Besoin En Base (BEB) : en unités VN/ha

■ **Modèle linéaire :**

$$\text{BEB} = [0,035 \times (0,04 \times \text{ARG} + 0,205 \times \text{M.O.}) \times (\text{pHs} - \text{pHa}) + 0.4] \times \text{P.T.F.}/1000$$

ARG = argile en ‰

MO = Matière organique en ‰

pHa = pH actuel

pHs = pH souhaitable

P.T.F = poids de terre fine en t/ha

■ **Modèle non linéaire (Rémy et Marin Laflèche, 1974) :**

$$\text{BEB} = \text{mt} \times [\text{A} + (5 \times \text{MO})] \times [\exp(\text{pH souhaité}/1,5) - \exp(\text{pHactuel}/1,5)]$$

mt = coef masse de terre = 0,22 pour 4000 tonne de terre

A = argile en ‰

MO = Matière organique en ‰

pH actuel

pH souhaitable

■ **Modèle utilisant le taux de saturation :**

$$\text{BEB} = \text{CEC} \times (\text{S}/\text{CECs} - \text{S}/\text{CECa}) \times 280 \times \text{P.F.T.}/100.000$$

ARG = Teneur en argile en 0/00

M.O. = Teneur en matière organique en 0/00

P.T.F. = Poids de terre fine en tonnes/ha = densité x profondeur en cm x % de terre fine

Critiques actuelles → pH → variation saisonnières → imprécision sur dose calculée
→ S/CEC → imprécision si faible CEC → imprécision sur dose calculée

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

■ Méthode utilisant la différence entre CEC Metson et CEC effective
Présentée au groupe par François Servain

■ Nouveau : pas de position actuellement du groupe SAB

■ Mise au point d'un Besoin En Bases par Titration :
Le BEB par titration en cours de mise au point en vue de normalisation
→ Ce matin Jean-François Zihlmann

■ Divergence au sein du groupe SAB :

Ces méthodes utilisent :

- Soit un pH souhaitable
- Soit un taux de saturation souhaitable
- Parfois les deux

Sur ces critères il faut noter des divergences au sein du groupe SAB
(voir plus loin)

- Sols sableux

- Cas des sols sableux → module chaulage spécifique
- Sol à faible pouvoir tampon
CEC de taille réduite

Le conseil chaulage s'établit à partir d'une formule intégrant :

- Teneur en matière organique
- pH initial
- pH souhaitable

Calcul de la dose d'apport : modèle utilisé

BEB = Besoin En Base en unités VN/ha

$$\text{BEB1} = [124 \times (\text{MO}/10) + (1285 \times (5,6 - \text{pH initial}))] - 160$$

$$\text{BEB2} = [287 \times (\text{MO} / 10) + (1410 \times (6,0 - \text{pH initial}))] - 830$$

■ Conseil chaulage COMIFER pour rotations avec betterave ou endive

Paramètres : **1** **2** **3** **4** *Quatre critères de décision*

Indice de battance	CaCO ₃ (g/kg)	pH	Ca éch. (g CaO/kg)	Stratégie
Faible (< 1,4)		< 7		Apport pour ramener le pH au dessus de 7 Calcul avec option 1 (*).
		> 7	< 6,7 > 6,7	Prévoir un apport avant les prochaines betteraves (entretien). RAS, pas d'apport à prévoir dans l'immédiat.
Moyen (1,4 < IB < 1,8)	< 3	< 7,3		Redressement = maximum de option 1 ou 2 (*)
		> 7,3		Remonter le CaCO ₃ à 3 g/kg Redressement avec option 2 (*).
	> 3	< 7,3		Ramener le pH au dessus de 7,3 Redressement avec option 1(*).
		> 7,3	< 6,7 > 6,7	Prévoir un apport avant les prochaines betteraves (entretien). RAS, pas d'apport à prévoir dans l'immédiat.
Elevé (> 1,8)	< 3	< 7,5		Redressement = maximum de option 1 ou 2 (*)
		> 7,5		Remonter le CaCO ₃ à 3 g/kg Redressement avec option 2 (*).
	> 3	< 7,5		Ramener le pH au dessus de 7,5 Redressement avec option 1(*).
		> 7,5	< 6,7 > 6,7	Prévoir un apport avant les prochaines betteraves (entretien). RAS, pas d'apport à prévoir dans l'immédiat.

Tableau 10.2 / Valeurs des indicateurs et choix de stratégie - (*) Apport impératif avant prochaines betteraves

■ Conseil chaulage COMIFER pour rotations avec betterave ou endive

Dose Chaulage = Besoin En Base = BEB → Calcul BEB suivant 2 formules

Option 1 formule pH : BEB = mt x [A + (5 x MO)] x [exp(pH souhaité/1,5) - exp(pHactuel/1,5)]

mt = 0,22 pour 4000 tonne de terre

BEB = exprimé en unité VN/ha

Options 2 : formule Calcaire total : BEB = Masse de terre x (CaCO₃souhaité - CaCO₃actuel) x 0,5

BEB = exprimé en unité VN/ha

Calcaire souhaité = 3 g/kg de terre

Brochure : le chaulage des bases pour le raisonner (groupe chaulage COMIFER 2009)

ITB : 25/04/2017

Quand faut-il apporter des amendements basiques ?

Conseils sur la base d'une analyse de terre^(*)

Type de sol	Valeurs issues de l'analyse de terre		Stratégie
	Teneur en CaCO ₃ (g/kg)	Valeur de pH	
Sols argileux non battants	Pour toute valeur	Inférieur à 7	Prévoir un apport pour remonter le pH à 7
		Supérieur ou égal à 7	Entretien, pas d'apport dans l'immédiat (**)
Sols moyennement battants, limons argileux, limons à bonne teneur en MO (2,2% ou plus)	Inférieure à 3	Inférieur à 7,3	Rééquilibrer le pH, puis entretien
		Supérieur ou égal à 7,3	Entretien, surveiller la réserve en carbonates
	Supérieure à 3	Inférieur à 7,3	Rééquilibrer la teneur carbonates, puis entretien
		Supérieur ou égal à 7,3	Entretien, pas d'apport dans l'immédiat (**)
Sols battants, limons et limons sableux à teneur en MO moyenne ou faible (< 2,2)	Inférieure à 3	Inférieur à 7,3	Situation à risque, apport à prévoir avant les prochaines betteraves, pour corriger la teneur en carbonates
		Supérieur ou égal à 7,3	Risque modéré, prévoir un apport avant les prochaines betteraves
	Supérieure à 3	Inférieur à 7,3	Entretien, surveiller la réserve en carbonates
		Supérieur ou égal à 7,3	Entretien, pas d'apport dans l'immédiat (***)

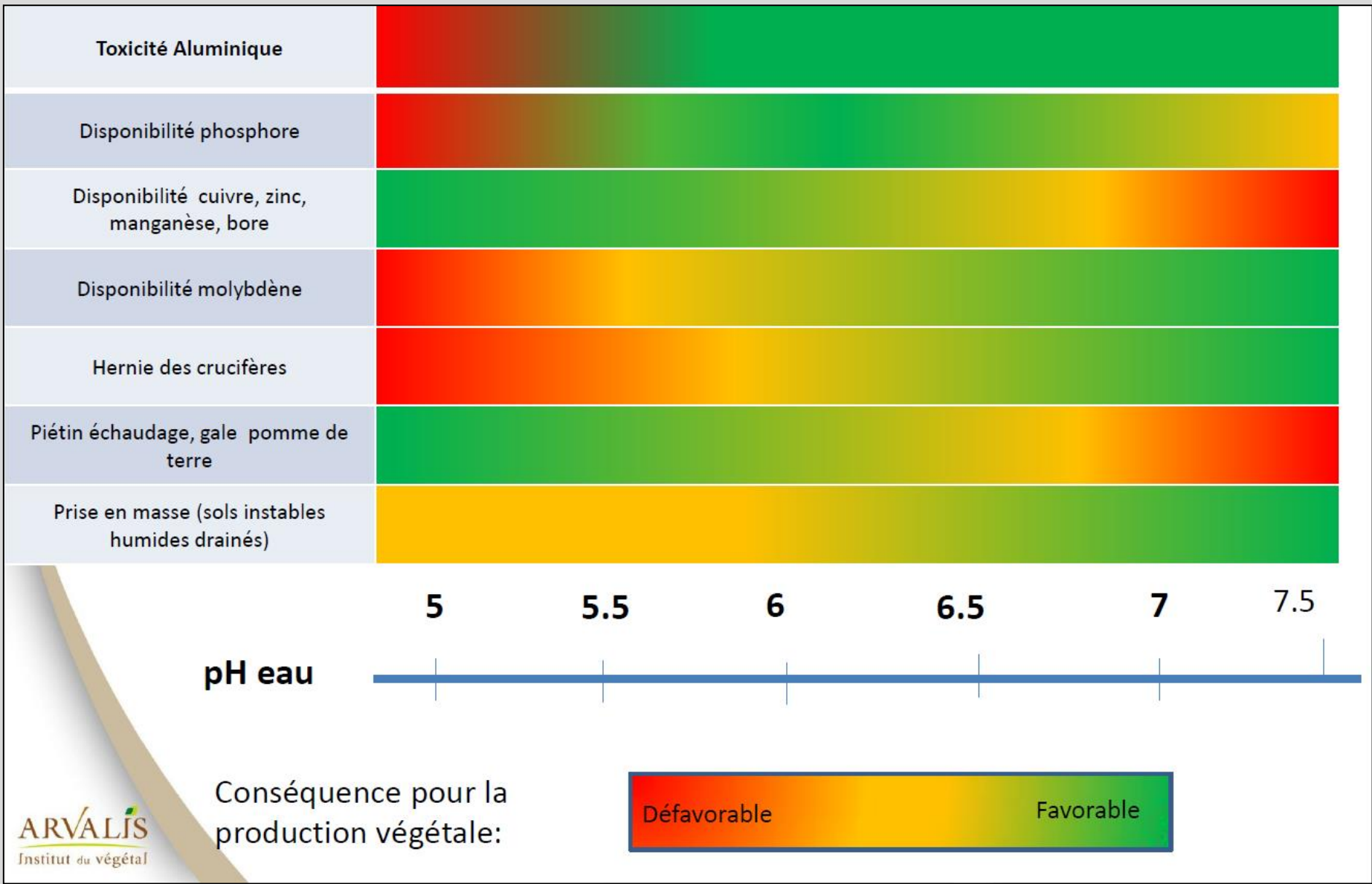
(*) Conformément aux préconisations définies dans le cadre du Comifer.

(**) Sols à bon pouvoir tampon, l'entretien peut être espacé de 5 à 7 ans.

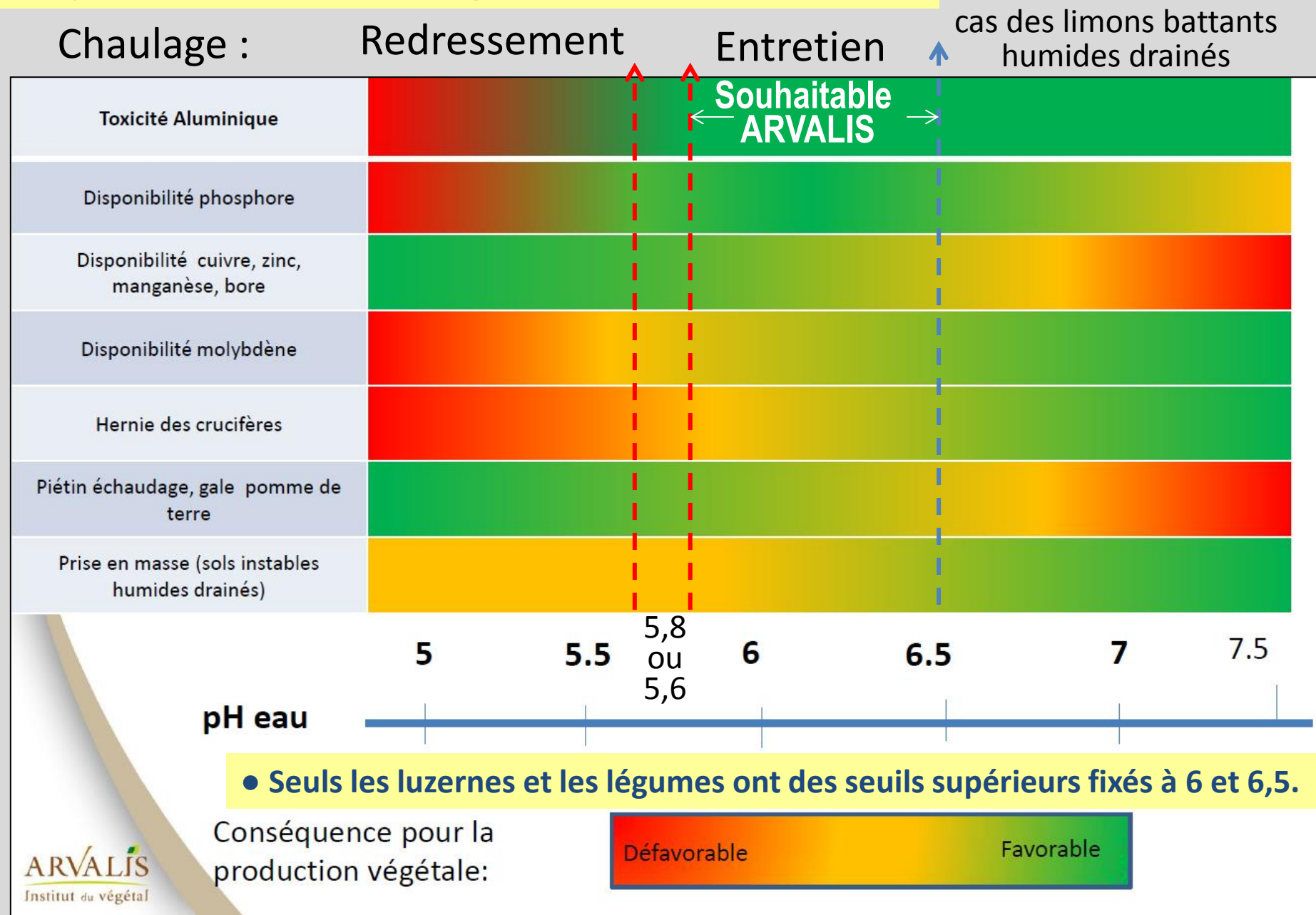
(***) Sols à faible pouvoir tampon, préférer des apports réguliers modérés à des gros apports de redressement.

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

→ Le pH idéal est un compromis

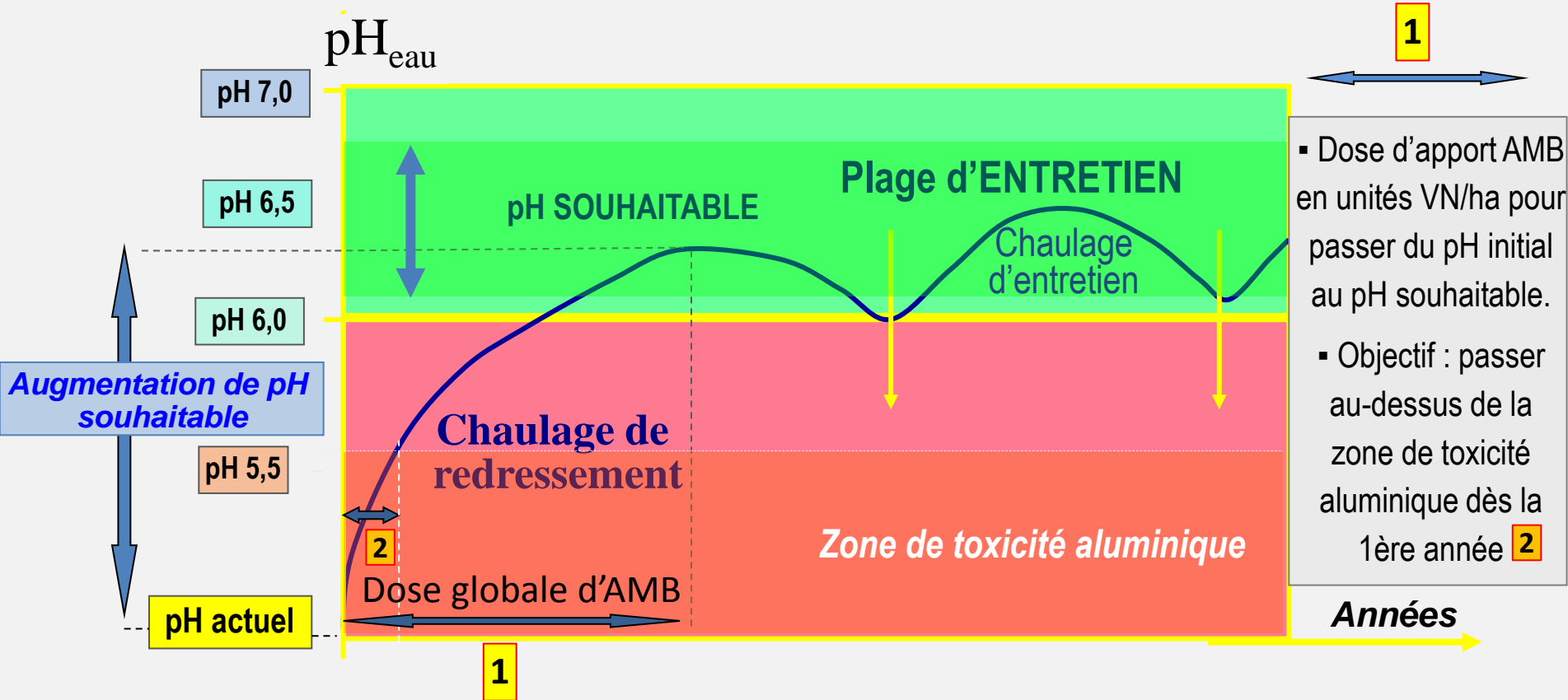


■ **Sujet à discussion, divergence :**



■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

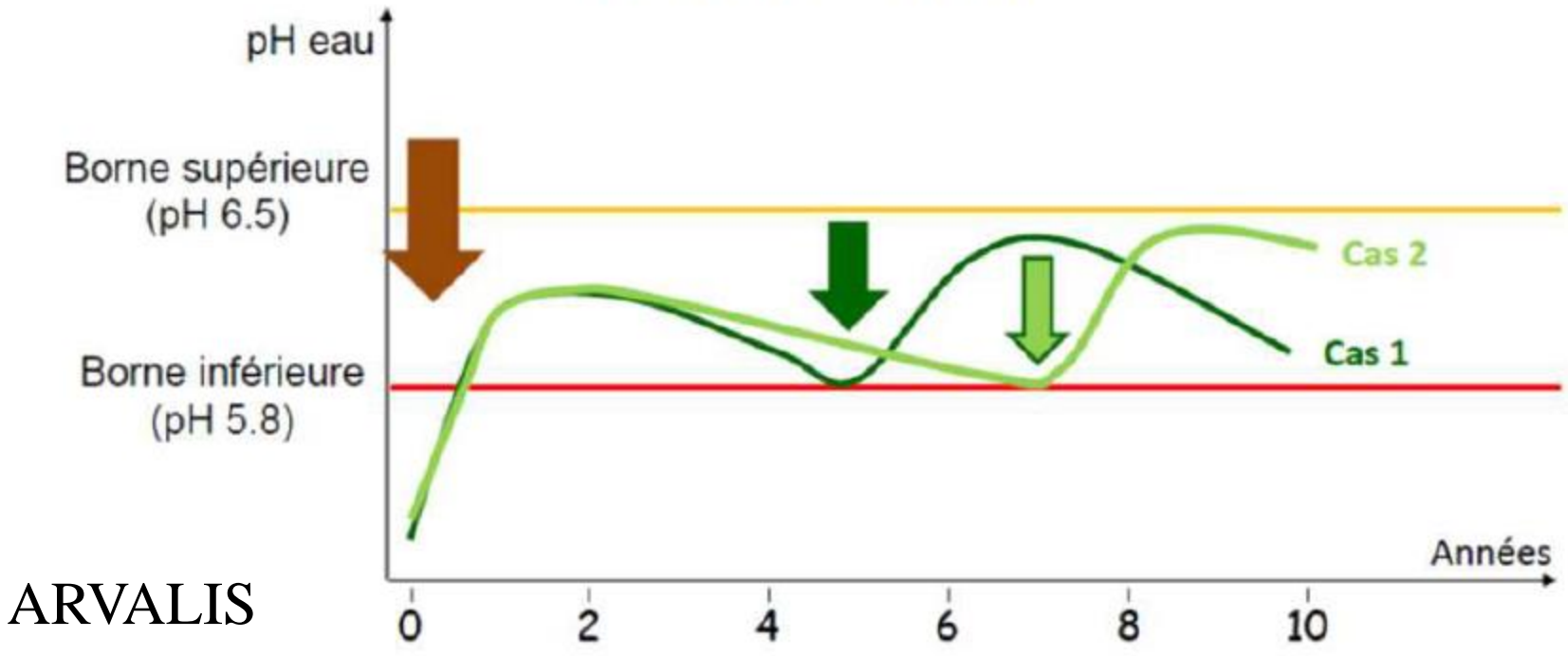
Chaulage de redressement et Chaulage d'entretien



Plage d'entretien : sujet à discussion

■ Sujet à discussion : plage du chaulage d'entretien

Figure 1 : Représentation schématique de l'évolution du pH d'un sol cultivé et amendé dans 2 cas de vitesse d'acidification du sol



ARVALIS

Chaulage de redressement

Chaulages d'entretien

Au-dessus d'un pH_{eau} de 5,8 - 6, les produits à action lente suffisent pour contrôler l'acidité.

Bornes de la plage d'entretien : sujet à discussion

■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

Dose de chaulage d'entretien ::

La dose d'apport d'amendement basique se situe entre **100 et 350 kg unités VN/ha/an** selon les conditions climatiques et les systèmes de culture.

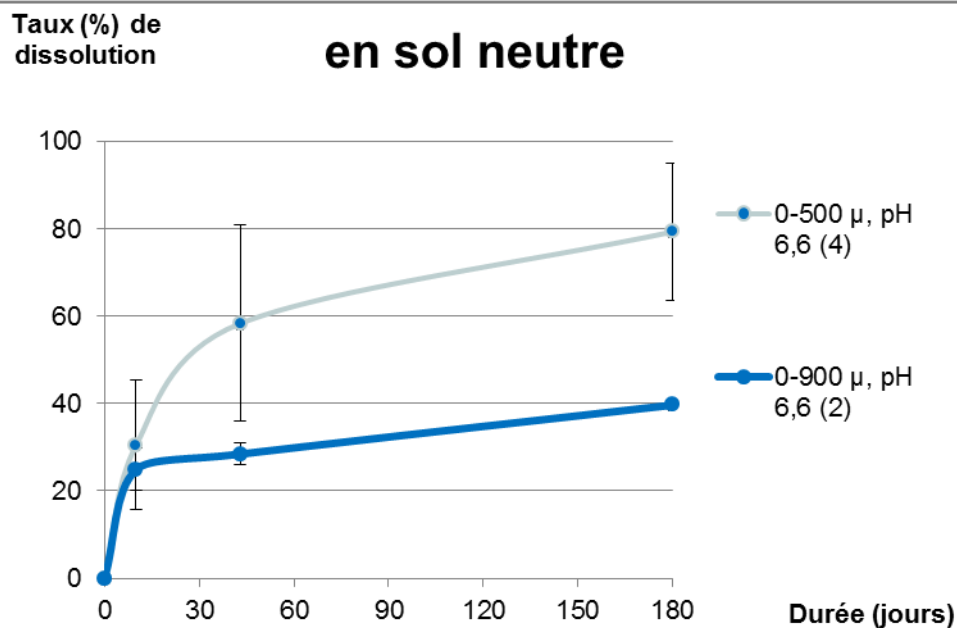
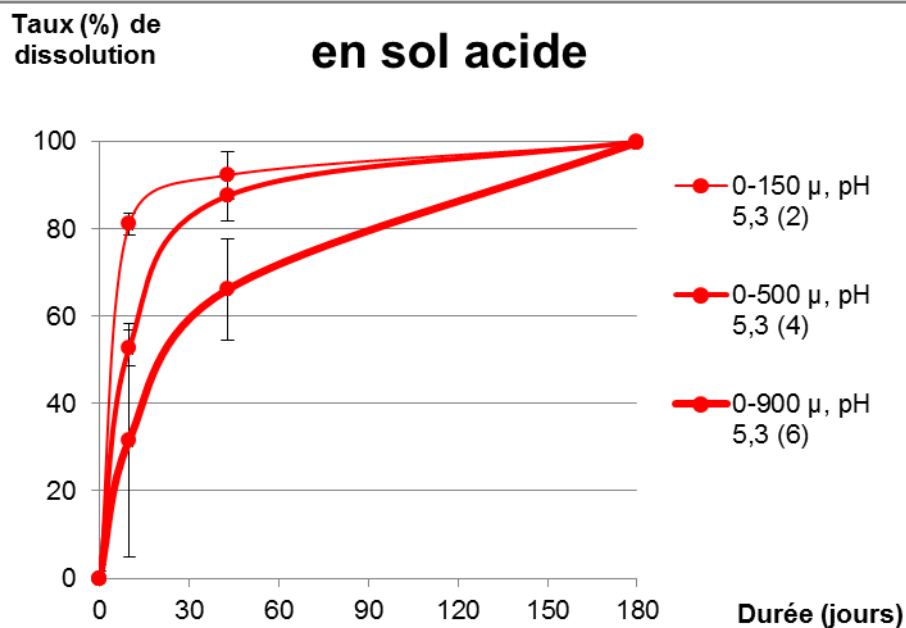
En contextes de polyculture – élevage avec des rotations à base de maïs fourrage et de céréales à pailles, avec apports réguliers de fumiers de bovins et pour des pluviométries annuelles n'excédant pas 900 mm, **100 à 150 kg unités VN /ha/an**, suffisent pour entretenir le pH.

■ Choix des produits : consensus

Amendements Minéraux Basiques : Carbonates,

Effet de la finesse sur le taux de dissolution

Effet de la finesse sur le taux de dissolution en fonction du pH du sol



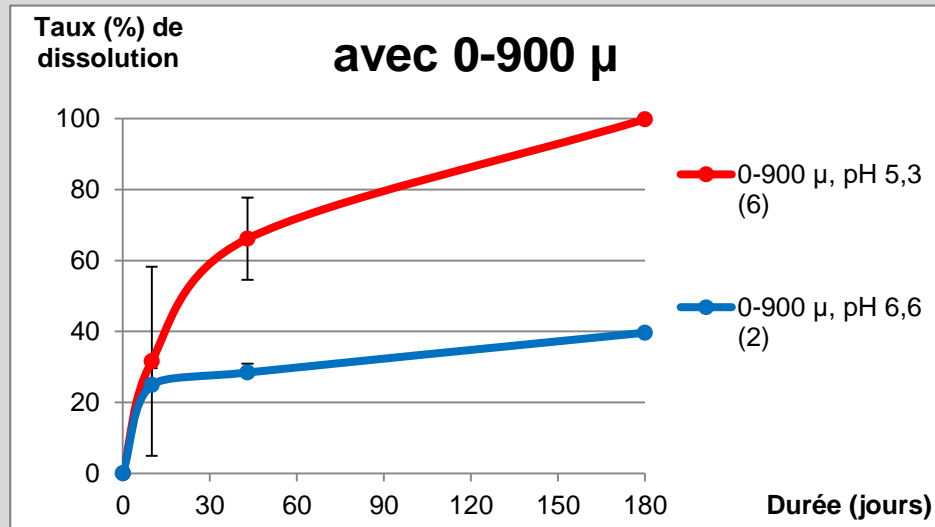
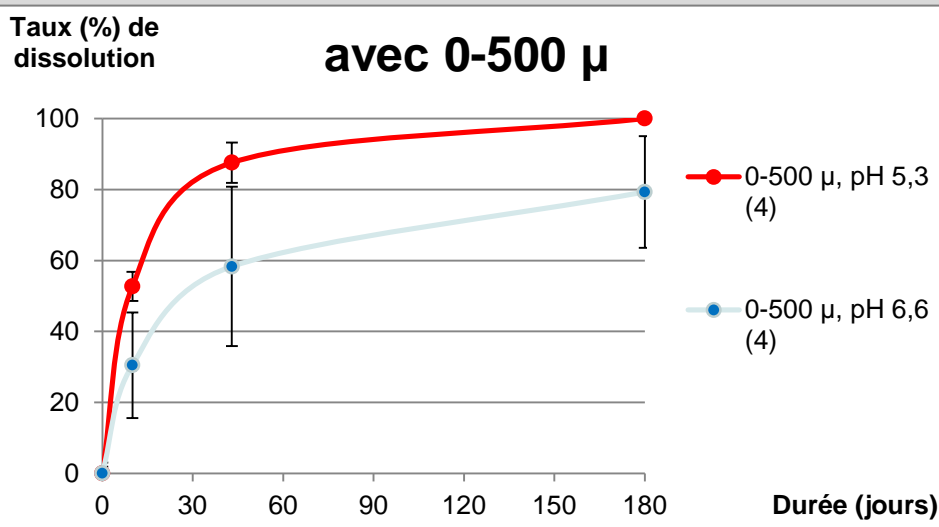
Essai MEAC 2013 : mesure du % de carbonate dissout sur une durée de 6 mois en fonction :

- De la finesse de mouture d'un même carbonate (3 classes de finesse)
- Du type de sol : acide - neutre

■ Choix des produits, consensus sur :

Amendements Minéraux Basiques : Carbonates, Effet de la finesse sur le taux de dissolution

Effet du pH initial sur le taux de dissolution



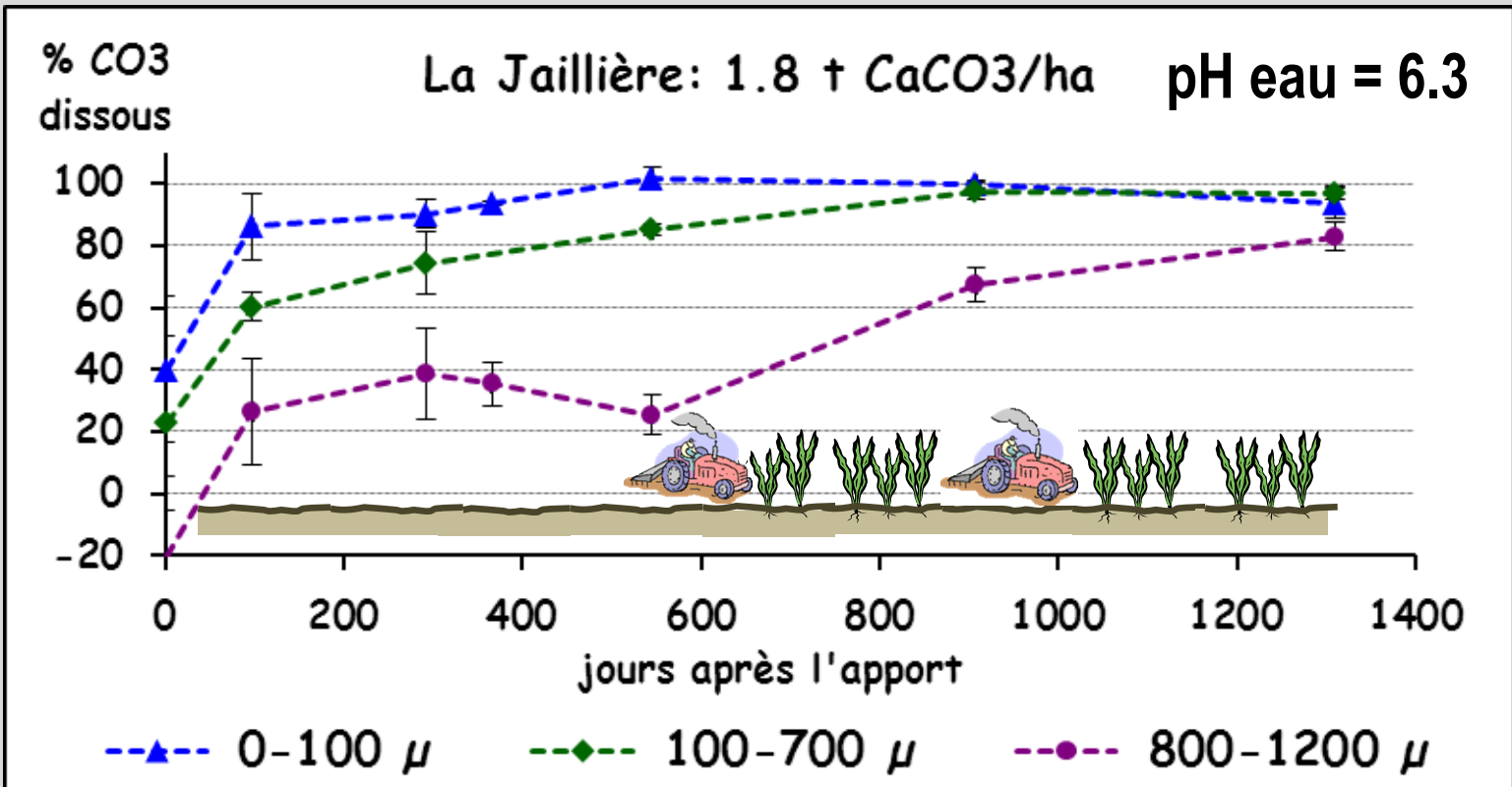
Essai MEAC 2013 : mesure du % de carbonate dissout sur une durée de 6 mois en fonction :

- De la finesse de mouture d'un même carbonate (3 classes de finesse)
- Du type de sol : acide - neutre

■ Choix des produits, consensus sur :

Amendements Minéraux Basiques : Carbonates,

- Effet de la finesse sur le taux de dissolution
- Influence du travail du sol



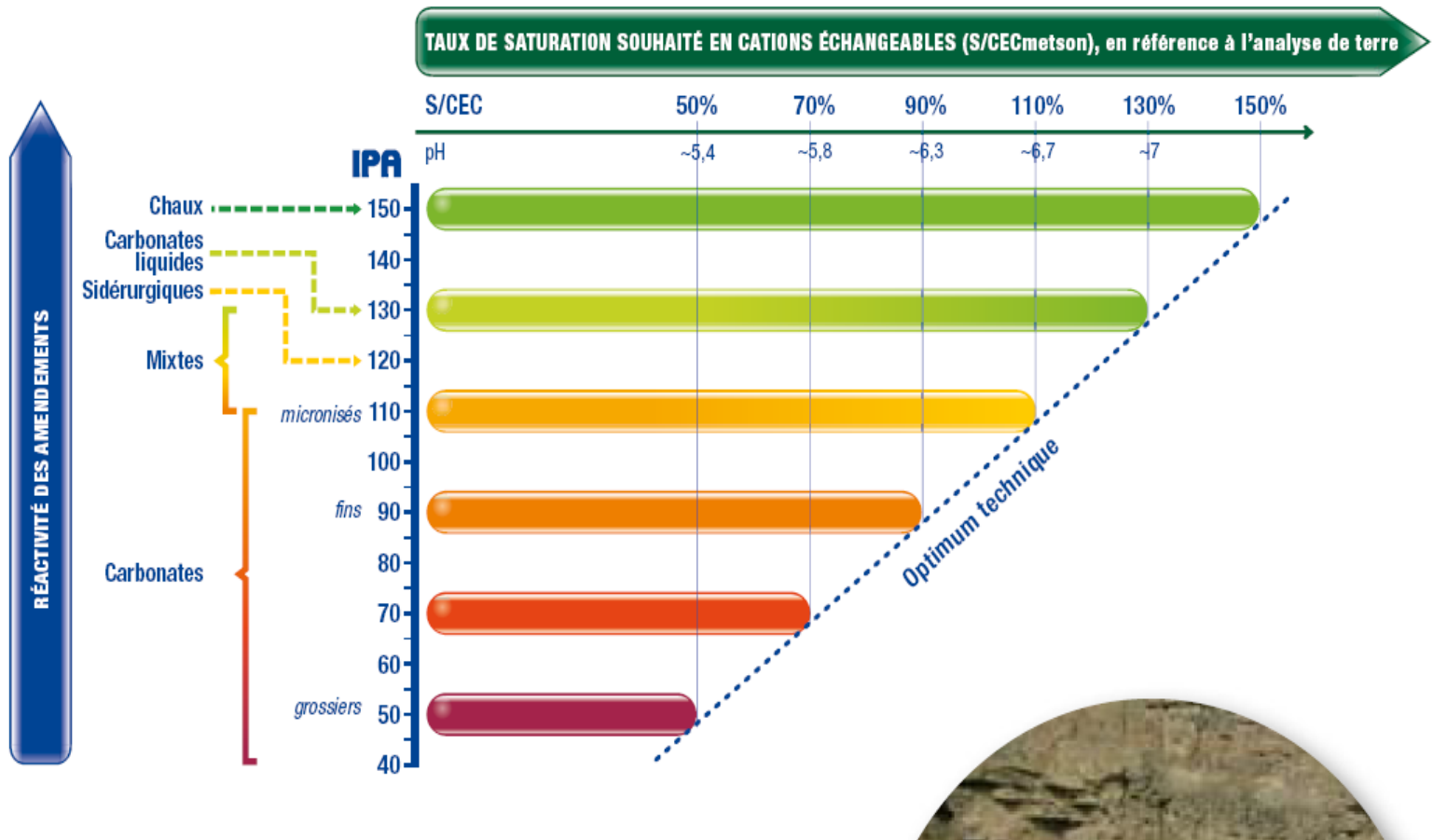
Poursuite de la dissolution des produits 100-700 µ et 800-1200 µ, au cours des campagnes 2011 et 2012, sur les deux sites - en présence de culture

Essais au champ en conditions agricoles (ARVALIS) - avec travail du sol

■ Choix des produits, divergence sur :

Amendements Minéraux Basiques : Caractéristiques des différents amendements calcaires IPA

Choisir un amendement minéral basique avec l'IPA



■ Choix des Produits, divergence sur :

ARVALIS

- Les produits à action rapide ne sont techniquement justifiés qu'en cas de redressement urgent.
 - Les **produits à action rapide** tels que les chaux et calcaires pulvérisés ne **s'imposent que dans les situations nécessitant un redressement d'urgence** :
 - $pH_{\text{eau}} < 5,5$
 - Délai entre l'apport et l'implantation de la culture suivante est court (qq semaines).
 - **Dans les autres cas, les amendements à action moyennement rapide ou lente conviennent également.**
 - **Les vitesses d'évolution du pH après un apport de redressement bien incorporé dans des sols acides différent peu entre des carbonates pulvérisés et broyés.**
- La qualité de l'incorporation du produit est aussi importante que sa nature en raison d'une action sur le pH limitée à quelques millimètres de la particule.