



Hors-série • avril 2000

infos

—Comité d'études et de liaison des amendements basiques—

Amendement basique
Mode d'emploi

É D I T O

Maitrise de l'acidité une compréhension nouvelle du chaulage.

Vous avez découvert en questions-réponses sur le Célac Infos de février, un nouvel éclairage sur l'amendement basique. Comme nous vous l'avions annoncé, ce hors-série vous apporte en détail les explications. Issues des récents travaux du groupe chaulage du Comifer, elles sont le fruit de la collaboration de compétences complémentaires, du chimiste à l'agronome.

Elles permettront à tous d'avoir un discours fertilisation encore plus précis et irréfutable car basé sur le pragmatisme d'une démonstration scientifique. Reproduction recommandée en citant vos sources Comifer !

Jean-Pierre Dionot
Président-Délégué Général du Célac

Les amendements basiques - propriétés

Les amendements basiques sont des amendements capables d'augmenter le pH d'un sol. Ils sont constitués d'un anion et d'un cation. L'anion porte des charges négatives ; il est capable de s'associer avec les H^+ pour les neutraliser : il a des propriétés basiques. Le cation porte des charges positives et peut s'adsorber sur le complexe adsorbant.

Les anions, éléments actifs des amendements basiques :

O^{2-} : anion constitutif de la chaux vive (CaO).

Cet anion réagit très vite avec l'eau pour donner HO^- (voir ci-dessous).

HO^- : anion de la chaux éteinte $Ca(OH)_2$.

CO_3^{2-} : anion du carbonate de calcium ($CaCO_3$) ou de magnésium ($MgCO_3$).

Anions silicates et silicophosphates :

anions présents dans les amendements sidérurgiques.

Tous ces anions sont des bases.

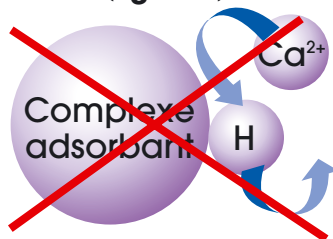
Les cations :

Ca^{2+} : cation calcium, **Mg^{2+}** : cation magnésium.

La remontée du pH a souvent été associée à un effet direct du cation venant arracher et prendre la place des H^+ sur le complexe adsorbant. En réalité, les cations calcium sont incapables de "casser" la liaison très forte liant les H au complexe adsorbant (**figure 1**).

Figure 1

Interprétation erronée du mécanisme du chaulage, les Ca^{2+} ne peuvent pas déplacer les H acides (voir ci-après).



— 1 —

en réalité...

L'amendement aujourd'hui et demain ?

Amendement basique
Mode d'emploi

Mode d'action schématique d'un amendement basique

Seules les bases issues de l'amendement basique peuvent "arracher", à l'état de H⁺, et neutraliser les H acides fixés sur le complexe adsorbant (H acides : H⁺ échangeables, rares, et H liés par covalence, beaucoup plus nombreux). Le pH de la solution du sol augmente. Les sites négatifs, libérés par les H⁺, peuvent alors accueillir les cations Ca²⁺ ou Mg²⁺ apportés par l'amendement (voir **figure 2**). Le mode d'action de l'amendement basique est présenté d'une manière plus complète dans le chapitre suivant.

Ainsi
L'anion, c'est à dire la base, est l'élément actif de l'amendement basique. L'efficacité d'un produit (amendement, fumier...) sur le pH n'est pas due à sa teneur en calcium.

1 Dissociation

2 Arrachement, à l'état de H⁺, des H acides et neutralisation

3 Adsorption de Ca²⁺ ou Mg²⁺ sur le site négatif créé

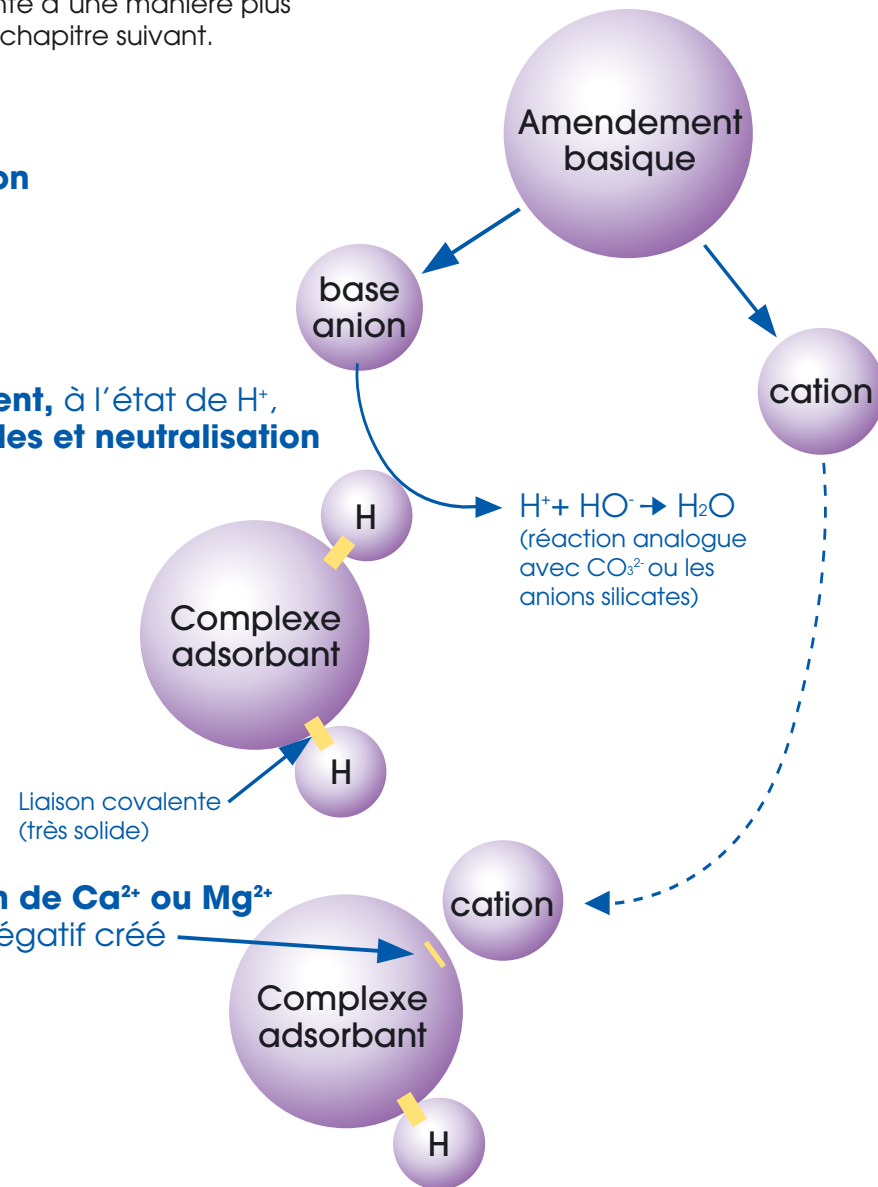


Figure 2
L'efficacité d'un amendement basique tient à l'action de sa base, l'anion O²⁻, HO⁻, CO₃²⁻ ou silicate. Le cation, Ca²⁺ ou Mg²⁺, ne fait qu'accompagner.

Les amendements basiques : Modes d'action

Les **ANIONS** de l'amendement (O²⁻, HO⁻, CO₃²⁻, silicates...), en raison de leurs propriétés basiques marquées, ont les principaux effets suivants (**figures 3 et 4**) :

Dans la solution du sol

- 1 Neutralisation de H⁺
- 2 Précipitation d'ions de l'aluminium (présents si le pH_{eau} du sol est inférieur à 5,8).

Dans le sol

- 3 Arrachement, à l'état de H⁺, et neutralisation de H acides fortement liés à la matière organique ou aux bordures des minéraux (liaisons covalentes). Des sites négatifs sont créés.

- 4 Arrachement et précipitation de cations du fer (et de l'aluminium) complexés. Des sites négatifs sont libérés.
- 5 Précipitation d'ions de l'aluminium échangeables, ce qui libère des sites négatifs (présents si le pH_{eau} du sol est inférieur à 5,8).

Ainsi

- Le pH augmente (pH_{eau} et pH de la solution du sol)
- Le nombre de groupes acides diminue (groupes concernés par les réactions 3 et 4).
- La CEC effective augmente (sites négatifs plus nombreux, réactions 3 et 4).
- Le nombre d'ions aluminium échangeables et en solution diminue (réactions 2 et 5).

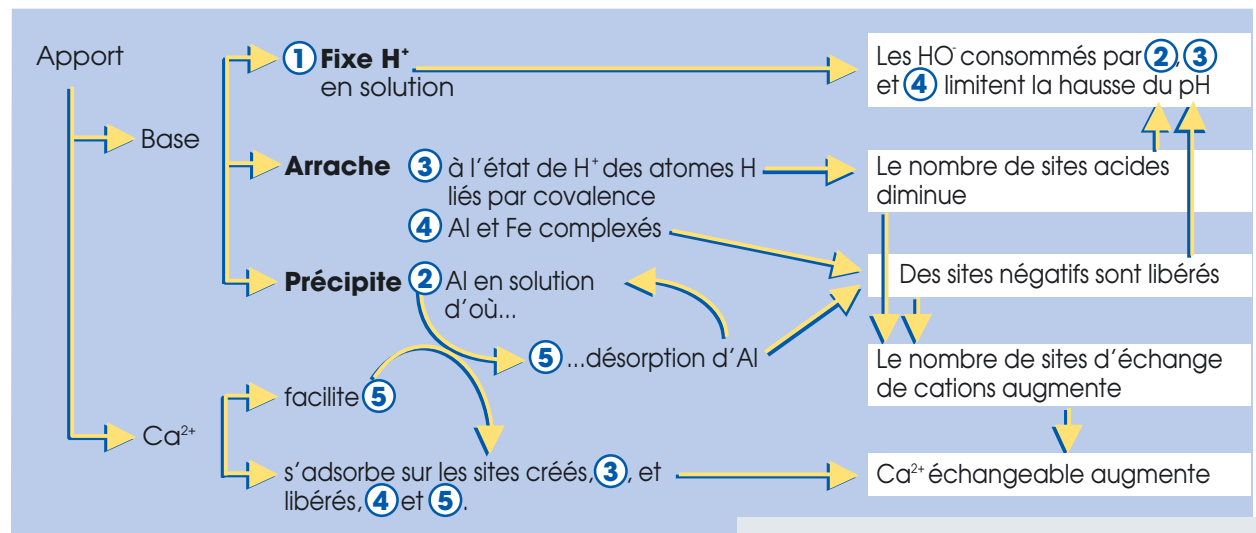


Figure 3
Modes d'action et effets d'un apport d'amendement basique.

Les CATIONS de l'amendement (Ca²⁺, Mg²⁺) :

- s'adsorbent sur les sites négatifs créés ou libérés (réactions 3, 4 et 5). En raison de l'acidité négligeable de Ca²⁺ et Mg²⁺, ces sites négatifs peuvent exprimer leur basicité, variable selon la nature des sites.
- Prennent éventuellement la place d'autres cations échangeables.

Ainsi

- La quantité de calcium échangeable augmente (et de magnésium le cas échéant).

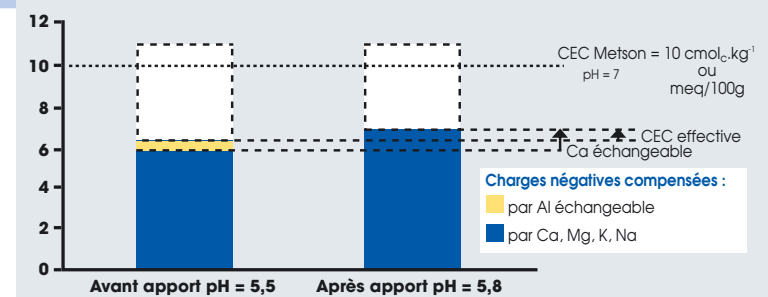


Figure 4

Effet d'un apport de 1000 unités neutralisantes /ha (exemple pour un labour de 20 cm, teneur en MO de 4%). Les groupes acides et l'aluminium échangeable diminuent au total de 1 cmolc.kg⁻¹, le calcium échangeable augmente d'autant, la CEC effective augmente (+0,5 cmolc.kg⁻¹).

Note : Une expression en équivalents (ou en milliéquivalents) est parfois ambiguë. On doit adopter les moles de charge, molc (norme ISO). La valeur numérique est la même en milliéquivalents pour 100 grammes (meq/100g) ou en centimoles de charge par kilogramme (cmolc.kg⁻¹).

Les indicateurs du statut acido-basique des sols

Il existe plusieurs indicateurs analytiques du statut acido-basique : pH_{eau} , pH_{KCl} , S/T, aluminium échangeable..., détaillés dans le **tableau 1**.

Ils sont souvent corrélés entre eux.

L'approche du statut acido-basique est plus fiable quand on dispose de plusieurs indicateurs (voir **tableau 2** en page 5).

Ce sont en général les indicateurs biologiques qui alertent l'agriculteur.

On peut citer par exemple, de façon non limitative, la qualité d'un peuplement prairial, la dominance de certaines adventices, une minéralisation difficile, une rémanence anormale d'herbicide, la dégradation facile des états de surface, une pénétration racinaire difficile, etc...

Tableau 1

Indicateurs analytiques du statut acido-basique des sols acides :

Indicateur	description	avantages	limites	explications agronomiques
pH_{eau}	Mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans de l'eau (rapport terre/eau normalisé).	Mesure simple, peu onéreuse. Nombreuses références agronomiques.	Fortes variations dans l'année. Plus élevé l'hiver que l'été (1).	Plus le pH est bas, plus la concentration en ions H^+ et aluminium de la solution du sol est élevée (risque de toxicité...).
pH_{KCl}	Idem mais avec une solution molaire de chlorure de potassium.	Mesure simple, peu onéreuse.	Fortes variations dans l'année comme le pH_{eau} .	Le cation potassium "chasse" les H^+ et les aluminium vers la solution du sol : c'est l'acidité d'échange.
$pH_{eau} - pH_{KCl}$	Simple écart.	Peut indiquer l'urgence du chaulage.	Attention aux variations des déterminations de base.	Peut indiquer la part, sur le complexe adsorbant, des ions responsables de l'acidité.
CEC Metson	Capacité d'Echange de Cations, extraction à pH 7 par l'acétate d'ammonium.	Méthode universelle de référence.	A ne pas confondre avec la CEC effective. (2)	Mesure la charge négative potentielle du sol (pH=7).
S/T ou taux de saturation	$\frac{(Ca + Mg + K + Na) \times 100}{CEC \text{ Metson}}$ (3)	Corrélié avec le pH_{eau} . Un des estimateurs du besoin en "chaux". (4)	Entretient l'idée fautive de l'effet basique de ces 4 cations.	Mesure la part de la charge potentielle (pH=7) occupée par les cations Ca, Mg, K et Na.
Ca/T ou taux de saturation en calcium	$\frac{Ca \times 100}{CEC}$ (3)	Idem, mais limité au calcium.	Idem ci-dessus.	Mesure la part occupée par le calcium.
CEC effective (Cobalti-hexammine ou $BaCl_2$)	Capacité d'Echange de Cations déterminée au pH du sol.	Méthode simple.	La CEC effective peut varier. (2)	Mesure la charge négative utile pour l'échange de cations (CEC effective).
Aluminium échangeable	Mesure conventionnelle de l'aluminium échangeable du complexe adsorbant.	Un des indicateurs de la toxicité aluminique.	Ne permet pas de quantifier le besoin en "chaux". (4)	En équilibre avec les ions aluminium en solution, dont certains sont toxiques pour les plantes.
Acidité d'échange	Somme des ions aluminium échangeables et des H^+ .	Applications surtout pédogénétiques.	Peu pratiqué par les laboratoires.	Mesure de la quantité d'ions échangeables d'acidité notable.

(1) Variations dépendant de l'activité biologique, des précipitations, de la fertilisation...

(2) Il est possible de ramener les résultats d'une méthode de mesure de la CEC à une autre ou à un pH donné.

(3) Cations et CEC exprimés en meq/100g ou mieux en cmol.kg⁻¹ (même valeur numérique).

(4) Besoins en unités neutralisantes.

Tableau 2
Statut acido-basique des sols

Domaine	Indicateurs et caractéristiques		Les bornes indiquées sont des moyennes				
	très acide		acide		peu acide	neutre	
pH_{eau} (1)		5,5		5,8		6,5	7,2
S/CECMetson (2)		55		70		100	150
Ca/CECMetson (*)		45		55		85	130
S/CEC effective (2)		80		100		100	100
Ca/CEC effective (*)		70		80		90	>90
Complexe adsorbant	ions de l'aluminium dominants.		Ca Mg K Na dominants. Al surtout complexé.		Saturé par Ca Mg K et Na. Aluminium complexé et précipité.		
Solution du sol pH cations dominants	Aluminium abondant. Peu de Ca Mg K.	5,0	Ca Mg K Na. Peu d'aluminium.	5,4	<7		

Questions spécifiques

Sensibilité des espèces, voire des cultivars, au pH, aux carences...

Toxicité aluminique
Carence Ca (voire Mg)

Complexation de l'aluminium par la M.O.

Micro faune et flore du sol

Propriétés physiques du sol (stabilité structurale...)
Propriétés chimiques du sol (K Mg Cu B...)

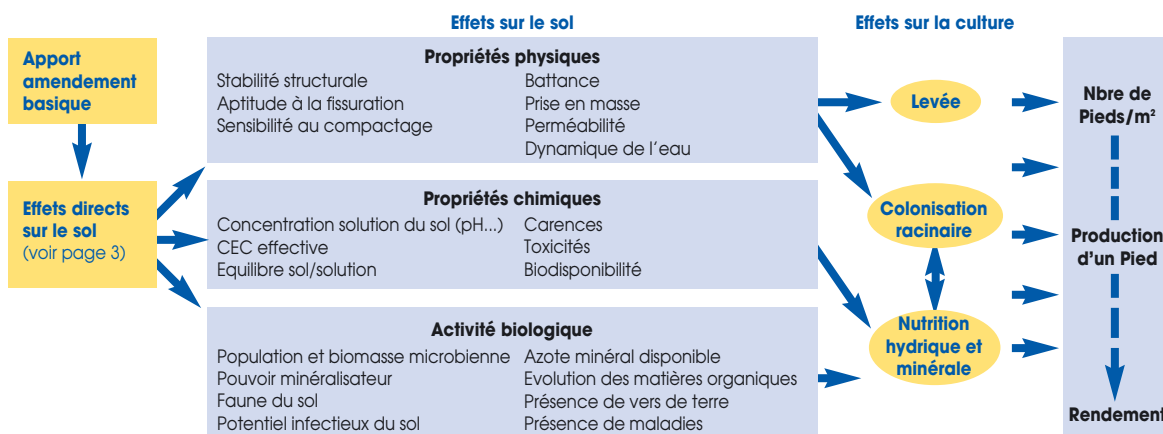
Stabilité structurale de l'horizon de surface

* : hors sol particulier (magnésien...)
(1) pH_{eau} : pH normalisé de la suspension terre/eau
(2) S : Somme de cations Ca Mg K Na, extraits par la même méthode que la CEC, expressions en cmol_e.kg⁻¹
CEC effective : CEC au pH du sol (cobaltihexammine ou BaCl₂).
CEC Metson : CEC standardisée à pH 7.

Effets indirects d'un apport d'amendement basique

En dehors des très rares cas où s'exprime la carence en Ca²⁺, les amendements basiques calciques n'agissent pas directement sur la production des cultures. On ne peut donc pas faire de relation directe entre le rendement obtenu et l'apport d'un tel amendement. L'effet d'un chaulage s'exerce à travers l'installation puis l'alimentation hydrique et minérale d'un peuplement. (**figure 5**).

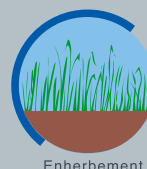
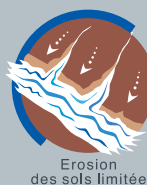
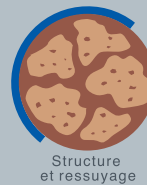
Figure 5
Les répercussions d'un apport d'amendement basique calcique



Il importe de bien distinguer les propriétés, souvent mesurées au laboratoire et de manière reproductible, et les comportements et les états évalués au champ, dépendants du climat, de l'état initial du sol et des techniques culturales.

à quoi sert l'amendement ?

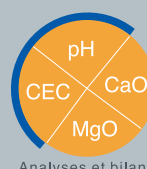
actions



résultats



contrôles



Les effets indirects

On peut distinguer trois grands types d'effets d'un apport d'amendement basique sur le sol :

• Effets sur les propriétés physiques :

en particulier la stabilité structurale est améliorée, rendant plus durable une structure favorable, acquise soit par le travail du sol, soit par une activité biologique.

Il en résulte une colonisation accrue du sol par les racines, une augmentation de la capacité de rétention en eau et de meilleures conditions de circulation de l'eau et de l'air.

• Effets sur les propriétés chimiques :

l'augmentation du pH supprime certaines toxicités quand elles existent (Al, Mn, éléments traces métalliques), conduisant à une meilleure exploration racinaire.

La disponibilité de certains éléments minéraux est modifiée : P, K, Mg, Oligo-éléments (augmentation pour Mo et diminution pour B, Mn, Zn, Cu).

• Effets sur l'activité biologique :

l'augmentation du pH modifie les populations microbiennes. Leur activité est de plus influencée par d'autres effets indirects du chaulage : matière organique plus facilement dégradable, augmentation des apports de carbone par les végétaux (résidus, masse racinaire, exsudats).

Extériorisation des effets

L'ensemble de ces effets se manifeste au champ différemment selon :

- la texture du sol (répartition granulométrique)
- l'état initial du sol (structure, disponibilité des éléments minéraux, humidité)
- le rythme et l'intensité des précipitations.

De plus l'effet d'un chaulage sur la production des cultures varie fortement selon :

- la nature de la culture, plus ou moins sensible :
 - à une toxicité aluminique
 - à une dégradation de l'état structural qui peut induire des pertes à la levée et/ou un mauvais fonctionnement racinaire.
- le système de culture et les itinéraires techniques (nombre et période de passage d'outils, doses d'intrants), qui peuvent masquer, réduire ou amplifier les effets attendus du chaulage.

Ainsi

Les apports d'un amendement basique calcique doivent résulter d'une caractérisation du sol par l'analyse de terre et l'observation au champ, données qu'il faut interpréter en fonction des conditions climatiques et du système de culture (grilles d'interprétation en préparation par le COMIFER). L'intérêt économique du chaulage dépend des différents effets cités, et est de ce fait difficile à évaluer : une stratégie de chaulage se raisonne à moyen terme, avec une analyse des risques.

L'amendement basique en résumé

- La capacité d'un amendement à augmenter le pH vient des formes oxyde, hydroxyde, carbonates ou silicates, et non du calcium ou du magnésium.
- Dans les sols à forte teneur en matière organique, le chaulage augmente la capacité à stocker des éléments nutritifs.
- L'amélioration des rendements est un effet indirect des amendements, qui passe par l'installation des peuplements et la colonisation racinaire.

- Le niveau de pH souhaitable dépend du sol, du climat et du système de culture.

En préparation :

- ▶ les grilles d'interprétation du COMIFER à paraître dans le prochain hors-série.

Ce contenu du présent CélaC infos est une version allégée du communiqué du Groupe Chaulage du Comifer. Ce dernier est disponible en version intégrale au CélaC sur simple demande.

Pour Recevoir Gratuitement
CélaC infos
contactez-nous

CélaC infos est édité par le Comité d'études et de liaison des amendements basiques.

Directeur de publication : Jean-Pierre Dionot.

Ont participé à ce numéro : Jean-Pierre Dionot, François-Xavier Gaumont.

Ce document est une version allégée du communiqué du COMIFER, Groupe Chaulage (Myriam Baranger, Gilbert Bonnet, Alain Bouthier, Pierre Castillon, Nathalie Damay, Bernard Fabre, François Xavier Gaumont, Jean-luc Julien, François Kockmann, Olivier Peltier, Jean-Pierre Staimesse, André Turpin).

Réalisation : Suite Logique