



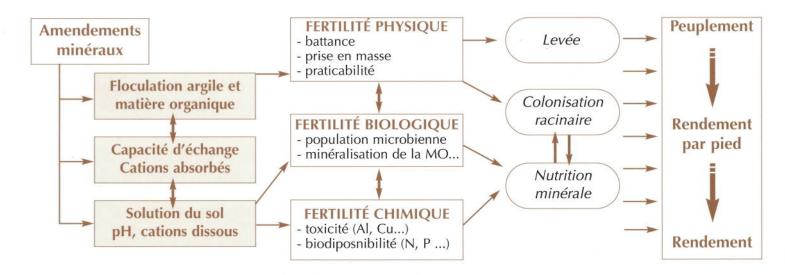
Le chaulage

juillet 2003

L'acidification constitue le processus d'évolution naturelle du sol ; elle résulte de la minéralisation des matières organiques, de l'activité racinaire, de la nitrification des engrais azotés ammoniacaux et de la dissolution dans l'eau du gaz carbonique de l'air. L'acidification entraîne des risques, dont la nature et l'intensité sont variables selon les milieux.

Le chaulage, pratique très ancienne, vise à corriger ce processus ; il joue sur les différentes composantes du sol et contribue au maintien de la fertilité globale du milieu. Contrairement aux engrais minéraux, azote, phosphore,..., qui peuvent être "facteurs limitants" du rendement, le chaulage interfère davantage sur les conditions générales du fonctionnement du système "sol-plante-climat", avec de nombreuses interactions. Le chaulage, à l'image du drainage, est donc à réfléchir dans la durée, au niveau global de l'exploitation. Toutefois, pour chauler à bon escient, une connaissance des répercussions du chaulage au niveau de la parcelle reste un préalable indispensable. On se limitera ici aux terres cultivées.

Schéma général des répercussions du chaulage



Source: R.REAU et al (COMIFER, 1995).

Les amendements minéraux, (chaux, carbonates de calcium,...), agissent directement sur les propriétés du sol, par 3 effets, mesurables sur des échantillons en laboratoire, à savoir :

- une amélioration de la floculation des argiles et des matières organiques,
- un accroissement de la capacité d'échange cationique, CEC, qui est un indicateur de la taille du "garde-manger" du sol,
- une élévation du pH, fait d'expérience bien connue.

Toutefois, ce sont les **répercussions au champ** qui sont importantes à connaître : les modifications des propriétés du sol, énoncées précédemment, induisent des effets sur les 3 composantes de la fertilité du sol, physique, chimique et biologique avec de nombreuses interactions.

Selon l'extériorisation de ces effets, variables selon les types de sol et le climat de l'année notamment, il en résulte des conséquences sur la culture : levée, colonisation racinaire, nutrition minérale..., et, en définitive, rendement.



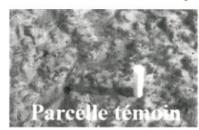


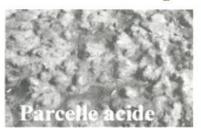
Chaulage et fertilité physique

La pratique du chaulage, en provoquant la floculation des argiles, améliore la stabilité structurale et modifie la dynamique de l'eau. Les sols limoneux battants, hydromorphes et/ou drainés, sont naturellement très sensibles à ces phénomènes. Cela se concrétise au champ au niveau du profil cultural:

• L'amélioration de la perméabilité fait que le sol est plus fréquemment praticable pour réaliser les travaux en bonnes conditions de ressuyage. L'agriculteur bénéficie d'une plus grande aisance pour gérer ses travaux, et réduit de ce fait les risques de gâchage de la structure par création de mottes compactes. Toutefois, l'extériorisation de cet avantage varie selon les situations : le gain sera net lorsque la période de réalisation des travaux, printemps ou automne, est très pluvieuse, que le terrain soit drainé ou non. En automne ou printemps normalement arrosé, le chaulage donne parfois un léger avantage en terrain hydromorphe non drainé ; par contre, en

Etat de surface des parcelles avant bêchage





Le dispositif de longue durée des 42 micro-parcelles (5 m²) de l'INRA de Versailles étudie l'évolution du sol sous l'influence d'engrais et d'amendements, en l'absence de couvert végétal depuis 1929.



Chaque parcelle est bêchée au

printemps et à l'automne. On voit ici les différences de structure en surface entre les 3 parcelles : témoin (aucun apport), acide (nitrate d'ammonium) et basique (carbonate de calcium), au printemps 2000.

terrain drainé, le chaulage est sans impact, le drainage suffit à lui seul.

- Le chaulage ralentit la dégradation de la structure sous l'action des pluies : battance en surface, prise en masse en profondeur. L'extériorisation de ce comportement dépend de l'état du profil cultural, créé au semis, dégradé ou non, de la pluviosité entre le semis et la récolte, et du fonctionnement hydrique du sol. Les résultats varient nettement entre terrains drainés et hydromorphes :
 - si la pluviosité en hiver et au printemps est forte, le chaulage est très efficace en terrains drainés alors que son effet est nul en terrains hydromorphes. Dans ce dernier cas, le profil se trouve périodiquement engorgé par l'eau en excès, qui ne peut s'évacuer.
 - *si la pluviosité en hiver et au printemps est faible ou normale,* le chaulage joue positivement en terrains drainés comme en terrains hydromorphes.

En conclusion, on retiendra que le chaulage est une technique intéressante pour améliorer la praticabilité d'un terrain, drainé ou non, mais que les répercussions sur le maintien de la structure du sol sont meilleures en terrains drainés qu'en terrains hydromorphes.

Attention : une seule opération culturale (travaux du sol ou de récolte) réalisée en conditions très humides, conduira à un gâchage généralisé de la structure, que ce soit drainé ou non, chaulé ou non !...



"Système racinaire maïs/sol témoin"



"Système racinaire maïs/sol + boues chaulées"

Lorsque le chaulage améliore le profil cultural, et donc la porosité, intra et extra mottière, on constate généralement une meilleure colonisation racinaire dans la couche labourée (+ 10 à + 20 %) comme dans les horizons profonds (+ 30 %). Quand le chaulage est sans répercussion sur l'état structural du sol, il n'y a pas d'effet sur la colonisation racinaire.



Chaulage et fertilité chimique

Mis à part quelques cultures particulièrement exigeantes en calcium, luzerne, chou, ..., la nutrition des plantes est largement assurée en cet élément à partir de la réserve en calcium échangeable de la plupart des sols.

C'est surtout sur la disponibilité des autres éléments que l'acidité interviendra :

- Lorsque **le pH est inférieur à 5.5**, la solubilisation de l'aluminium fait qu'il devient directement absorbé par les plantes, entraînant une toxicité responsable de chutes de rendement. De même, le risque de toxicité lié au manganèse est présent. En conséquence, indépendamment du type de sol, le pH minimal à rechercher en toute situation est supérieur à 5.5, en particulier pour les cultures d'orge, de maïs, de betterave.
- Lorsque **le pH est au-dessus de 7.0**, l'assimilabilité de la plupart des métaux commence à décroître, pouvant alors induire des déficiences dans des sols très pauvres ; le molybdène fait exception.

Les risques concernent surtout les situations suivantes : *en sols très riches en calcaire fin,* les carences sont alors nettes, en manganèse, cuivre et fer ; pour le *zinc,* la carence sera accentuée par une grande richesse en P2O5. *Par rapport au bore,* l'effet lié à son insolubilisation lorsque le pH augmente, n'est sensible que dans les sols très pauvres, où un apport de bore est indispensable.

• Lorsque **le pH se situe entre 5.5 et 7.0**, l'assimilabilité de la plupart des métaux ainsi que celle du phosphore, du potassium et du magnésium, est optimale. En limons battants, des travaux expérimentaux ont mis en évidence que le phosphore devient davantage biodisponible lorsque le pH se situe à 6.5 ; en situation acide, il faut majorer les doses d'entretien annuel, et choisir impérativement une forme rapidement assimilable.

En conclusion, sachant que le pH baisse fortement au printemps lié à une relance de l'activité biologique dans le sol, chute susceptible de déclencher des intoxications minérales dans les sols modérément acides, il apparaît préférable de rechercher un pH compris entre 6 et 7.

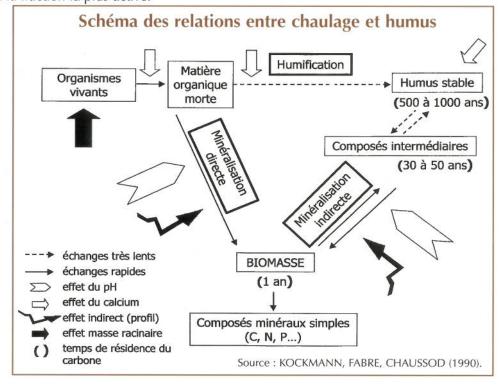


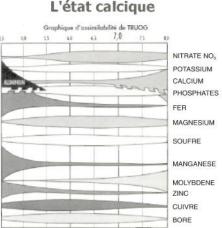
Pour comprendre les effets multiples du chaulage sur l'humus, il est indispensable de resituer le **cycle du carbone**, qui correspond à un double processus : la **minéralisation**, directe et indirecte, voie rapide, et l'**humification**, voie très lente au contraire. Sous l'action des micro-organismes, la matière organique morte se transforme donc soit en humus stable, soit en biomasse microbienne, correspondant à la fraction la plus active.

Le chaulage influe sur le cycle du carbone par l'élévation du pH et par l'apport de calcium. En schématisant, on retiendra que :

• l'élévation du pH accroît la biomasse. Un chaulage brutal stimule la minéralisation directe de la matière organique, et accentue donc la minéralisation de l'azote. En sols peu acides soumis à un chaulage d'entretien, l'effet du pH sur l'accélération de la biodégradabilité de la matière organique est plus discret mais bien réel.

L'élévation du pH modifie les équilibres entre populations microbiennes, en particulier le rapport bactéries/champignons. Les bactéries nitrificatrices sont inhibées en deçà d'un pH égal à 5, la transformation de l'azote organique en NH₄+ est améliorée suite à un chaulage.







- la présence de calcium induit un développement des vers de terre, contribuant à la dégradation des matières organiques fraîches ainsi qu'un rôle protecteur sur l'humus stable.
- en améliorant le profil cultural, le chaulage modifie favorablement les conditions (aération, drainage) de la minéralisation d'une part et accroît la masse racinaire, source d'humus, d'autre part.

En conclusion, le chaulage améliore la dynamique de l'évolution de la matière organique, sans altérer le stock d'humus stable, contrairement à certaines croyances ancestrales.

En outre, mentionnons les *risques suivants en milieu acide* : intoxication ammoniacale chez le maïs au stade 3-4 feuilles, suite à une nitrification insuffisante ; développement du pied noir de la betterave et de la hernie des crucifères. Enfin, l'activité des *azotobacter*, responsables de la fixation de l'azote de l'air est défavorisée en milieu acide : c'est un critère à intégrer en cas de cultures de légumineuses.

Le chaulage, une priorité en terrains acides

Un chaulage de redressement en sols très acides Un chaulage d'entretien en sols acides...

pH eau	Calcaire total	Ca/CEC	Source: d'après COPPENET (1985)
8,0	80 %	\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	SOLS CALCAIRES
0,0			- Nitrification bonne mais minéralisation nette
7,5			généralement faible (remarque de R. CHAUSSOD)
	10 %	> 100 %	- Phosphates insolubilisés
7,0	2 %		- Bonne nitrification
6,5	traces	80 – 120 %	SOLS NEUTRES
0,5	0		- Bonne nitrification, bonne alimentation P, K, Mg
6,0			SOLS ACIDES
	0	50 – 90 %	- Bonne alimentation P, K, Mg
5,5			- Assez bonne nitrification
		(0.0/	SOLS TRES ACIDES
5,0		< 60 %	- Nitrification faible
4,5			- Phosphates insolubilisés
7,5			- K, Mg fixés trop énergiquement
4,0		< 20 %	- Toxicité aluminique

... avec, en priorité, les terrains limoneux battants.

Chauler, c'est agir positivement et efficacement sur les différentes composantes de la fertilité physique, chimique et biologique du sol.

Chauler revient en effet à :

- améliorer la praticabilité des terrains et réduire par là, les risques de gâchage de la structure,
- augmenter l'efficience des intrants,
- favoriser la dynamique d'évolution de la matière organique.

Attention toutefois : chauler ne signifie pas surchauler !... Il faut au contraire chauler à bon escient pour optimiser les effets sur le revenu de l'exploitation.

Le plan de fumure global de l'exploitation : irremplaçable !

Chaque exploitant se trouve confronté à la recherche d'un compromis entre la préoccupation technique du chaulage, raisonnée à la parcelle, et le jeu des contraintes, notamment de logistique, liées au marché et au fonctionnement global de l'exploitation. Or, la démarche du plan de fumure global de l'exploitation donne tous les atouts pour négocier les meilleurs compromis. Elle repose sur les exigences suivantes :

- connaître la fertilité des sols par une pratique ciblée et périodique de l'analyse de terre, véritable outil de gestion,
- connaître aussi les terrains, c'est-à-dire leurs comportements aux champs sous l'action des outils et du climat, et là, le "tour de plaine" est une source d'observations à valoriser.
- intégrer les contraintes logistiques et économiques et bien connaître les systèmes de cultures. Les décisions, dans la mesure où le chaulage touche à la fertilité du milieu, sont de deux ordres :
- les **choix stratégiques**, à mettre en perspective, sur le long terme, en particulier les priorités au niveau des parcelles, la gamme de produits adaptés aux terrains mais aussi aux contraintes en équipement, le rythme des apports en relation avec le choix des intercultures pour réaliser les travaux d'épandage;
- les **choix tactiques** qui se reproduisent d'une année sur l'autre, en interférant sur le pilotage des autres techniques, en particulier la fertilisation azotée et phosphorique, et se concrétisant par le bon de commande en adéquation avec le plan de chaulage prévu.

La mise en place de l'Agriculture Raisonnée incite à généraliser la démarche du plan de fumure, et donc à éclairer la politique de chaulage sur l'exploitation.





Critères de choix des amendements

Un 1er critère : le prix de l'unité de valeur neutralisante

M. COPPENET et al (1986) suggèrent de comparer le prix des produits en se référant au coût de l'unité de valeur neutralisante. Cette caractéristique évalue, pour un amendement, sa capacité théorique de neutralisation de l'acidité des sols. Elle correspond très concrètement au poids de chaux qui a la même action que 100 kg de l'amendement et s'exprime en équivalent CaO.

Comparer les produits sur cette base constitue une clarification : la valeur neutralisante ne tient compte que de la chaux CaO et de la magnésie MgO qui sont susceptibles, plus ou moins rapidement, de neutraliser les acides ; elle tient compte également du fait que la magnésie a une plus grande capacité de neutralisation que la chaux à poids égal, 1 g MgO équivaut à 1,4 g CaO.

Un 2e critère : la rapidité d'action

La connaissance de la rapidité d'action des produits constitue une base indispensable pour raisonner les stratégies de redressement ou d'entretien. Les chaux agissent rapidement dans les sols.

Les calcaires ont une action d'autant plus rapide qu'ils sont plus tendres et plus finement broyés.

Il faut donc prendre en compte :

La finesse de mouture. Les amendements calcaires sont classés ainsi :

- ▶ pulvérisé : 80 % du produit au moins passe au tamis de 0,315 mm d'ouverture de maille. Le refus doit passer au tamis de 1 mm.
- granulé : produit pulvérisé puis aggloméré ou compacté. La finesse à prendre en compte est celle du produit avant granulation.
- broyé: 80 % au moins du produit passe au tamis de 4 mm.
- concassé ou brut : granulométrie supérieure aux produits broyés.

La solubilité carbonique (S) est une mesure en laboratoire, qui permet d'apprécier la rapidité d'action du produit : rapide si $S \ge 50$; moyennement rapide si $20 \le S < 50$; lente si S < 20.

Attention : pour les produits bruts ou concassés, la solubilité carbonique concerne la tranche granulométrique de 1 mm à 1,6 mm : elle est alors exprimée par le qualificatif : roche tendre si $S \ge 25$; roche dure si 10 < S < 25.

Cette disposition législative récente clarifie l'identification des produits : remarquons que la comparaison des valeurs de solubilité carbonique des amendements concassés ou bruts et des amendements broyés, granulés ou pulvérisés est sans signification. En effet, il s'agit dans le premier cas de la solubilité carbonique de la tranche granulométrique 1 mm - 1,6 mm et, dans l'autre cas, de la solubilité carbonique de l'amendement.

Un 3° critère : calcium seul ou calcium associé avec magnésium ou phosphore

Pour corriger ou entretenir une situation simultanément en calcium et en magnésium, on peut conseiller l'utilisation des amendements calco-magnésiens, solution souvent économique. Toutefois, on raisonnera la dose à épandre à l'hectare en fonction des besoins en magnésium ; c'est pour cette raison que les amendements comprenant 4 à 6 % MgO et 35 à 40 % CaO sont souvent plus intéressants que les produits riches en magnésie, 20 % MgO et 30 % CaO par exemple.

Certains produits, le plus illustre étant les Scories Thomas, sont utilisables pour corriger ou entretenir une situation, simultanément en calcium et en phosphore. Là aussi, on évaluera la dose à l'hectare en fonction des besoins en

phosphore ; il en résulte que, dans la pratique, cette solution convient surtout aux situations nécessitant un enrichissement en phosphore.

En définitive, viser une première présélection, sachant que...

les trois critères précités (prix, rapidité d'action, autres constituants que le calcium) permettent de pré-sélectionner les produits intéressants. Néanmoins, l'expérience montre que les possibilités de transport, stockage, manutention et épandage infléchissent fortement les décisions des agriculteurs.

Que penser des ressources locales ?

En marge des circuits industriels et commerciaux classiques, certaines carrières offrent aux agriculteurs des produits amendants à très bas prix. Ce sont le plus souvent des amendements broyés ou bruts, qui conviennent pour l'entretien ; pour faire du redressement, il faut apporter des quantités importantes, solution attractive compte tenu du bas prix d'achat. Il faut toutefois faire pratiquer régulièrement des analyses de contrôle du produit et ajuster les doses à apporter en fonction des caractéristiques : valeur neutralisante, granulométrie, solubilité carbonique.

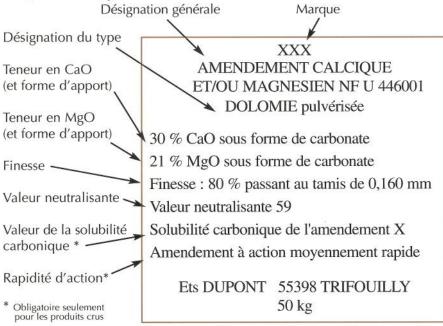


Les grandes catégories de produits

Types et appellation	Teneurs courantes % CaO % MgO		Valeur neutralisante	Solubilité carbonique (produits crus)	Autres caractéristiques
Produits crus	70 CuO	70 11180	neutranounte	(producto cras)	1
Calcaire pulvérisé	45 à 55	0 à 2	45 à 55	50 à 80	Action rapide
Calcaire broyé	45 à 55	0 à 2	45 à 55	25 à 45	Action moyennement rapide
Dolomie pulvérisée	25 à 30	17 à 21	55 à 60	30 à 35	Action moyennement rapide
Dolomie broyée	25 à 30	17 à 21	55 à 60	10 à 20	Action lente
Produit cuits					
Chaux vive	80 à 95		80 à 95	Produits très rapidem	ent efficaces.
Chaux vive magnésienne	45 à 75	18 à 40	80 à 110	Manutention diminuée en raison de leur forte concentration	
Amendements mixtes					
Amendement calcique mixte	50 à 72		50 à 72	Mélanges d'amendements crus et cuits.	
Amendement magnésien mixte	30 à 56	10 à 30	45 à 80		
Engrais à valeur amendante					
Ex : Scories Thomas 12	40 à 45	1 à 3	40 à 45	Engrais à bonne valeur neutralisante (entretien)	

Comment lire une étiquette ?

L'étiquetage est la garantie que l'amendement est conforme à la norme, et les indications permettent à l'agriculteur de savoir exactement ce qu'il achète. Sur les sacs (ou sur les documents d'accompagnement, pour les livraisons en vrac), on doit obligatoirement trouver les indications suivantes :



Epandage

Modalités

La qualité du mélange avec le sol est primordiale pour bénéficier rapidement et efficacement de l'effet amendant du produit.

- avant cultures, incorporer l'amendement dès son épandage par une façon superficielle (disques croisés ou outils à dents).
- les produits pulvérulents sont les plus rapidement efficaces agronomiquement. L'épandage du produit peut se faire n'importe quand, dès lors que le sol est portant.
- entre deux blés successifs, éviter de chauler pour limiter les risques de piétin verse.

Manipulations

Les produits secs sont plus facilement utilisables que les produits humides (quantités). Les produits granulés sont les plus faciles à épandre par l'agriculteur.

Les produits en poudre demandent un matériel adapté (intérêt des CUMA ou des services rendus racine).

Action réalisée dans le cadre d'AVENIR AGRO BOURGOGNE avec le soutien financier de







Contacts:

Chambre d'Agriculture de Côte d'Or - Tél : 03 80 28 81 20 Chambre d'Agriculture de Saône et Loire - Tél : 03 85 29 56 12 Chambre d'Agriculture de Bourgogne – Tél : 03 80 48 43 00

Crédits photographiques : ROCK France.

Chambre d'Agriculture de la Nièvre - Tél : 03 86 93 40 50 Chambre d'Agriculture de l'Yonne - Tél : 03 86 94 22 22