

# Le soufre

Le rôle du soufre (S) dans la plante est d'activer des enzymes et des coenzymes. Il est un composant de plusieurs acides aminés essentiels comme la cystéine, cystine, méthionine, taurine, glutathion. Il est indispensable à la synthèse des protéines et intervient aussi dans la fixation symbiotique de l'azote.

L'absorption de soufre par la plante permet une meilleure valorisation de l'azote par un meilleur équilibre de la synthèse des acides aminés constituant les protéines végétales.

Le soufre possède également une action bénéfique sur la vie microbienne du sol.

## Cycle du soufre

Le cycle biologique du soufre dans la nature est très comparable à celui de l'azote dans le sol. Tous les deux sont stockés à l'état organique et sont ensuite libérés sous une forme assimilable par la plante par un processus analogue (la minéralisation microbienne ou l'hydrolyse).

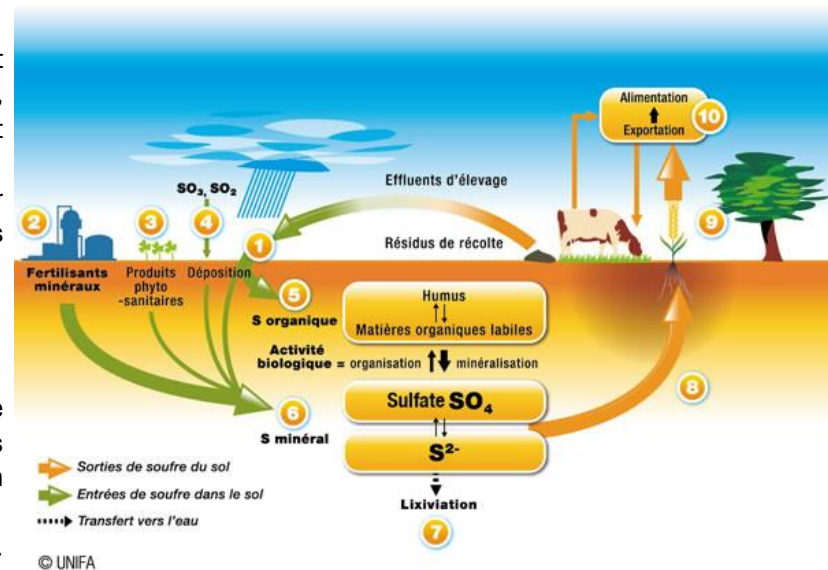
Le produit final en est toujours l'ion sulfate  $SO_4^{--}$ , forme que la plante peut absorber. L'ion sulfate n'est pas retenu dans le sol, il est très facilement lessivé pendant l'hiver.

Une autre forme minérale de soufre, l' $H_2S$ , peut apparaître en milieu réduit comme les sols inondés. Cette forme peut être toxique à une certaine concentration pour les plantes.

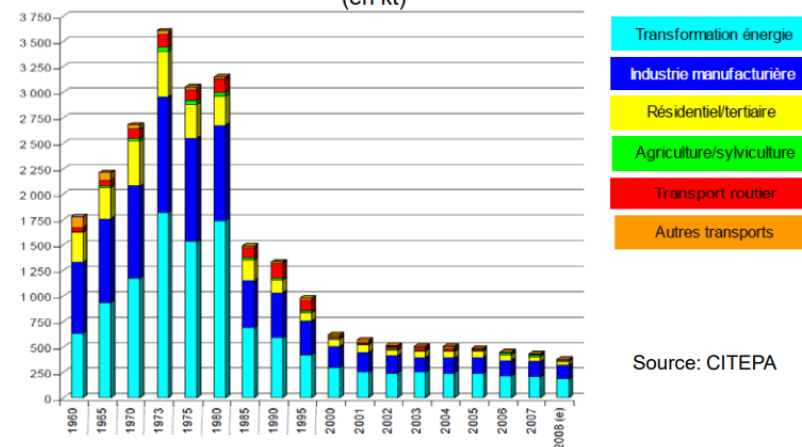
## Un élément devenu majeur avec la diminution des retombées atmosphériques

Le soufre, présent dans l'atmosphère essentiellement sous forme de dioxyde de soufre ( $SO_2$ ), provient d'événements naturels comme les éruptions volcaniques mais aussi des activités humaines, principalement la combustion d'énergies fossiles. Il peut, sous cette forme, pénétrer dans les feuilles mais la plus grande part du soufre atmosphérique est absorbé par le sol, apporté par les pluies. Jusque dans les années 90, la nutrition soufrée n'était pas un sujet de préoccupation puisque les industries et leurs émissions de dioxyde de soufre garantissaient un apport suffisant et quasi-automatique aux cultures. Les sols étaient ainsi approvisionnés automatiquement en soufre par les pluies.

Mais, sous l'effet des réglementations environnementales cherchant à contrer le phénomène des pluies acides et de l'adoption des carburants à faible teneur en soufre, les émissions européennes de  $SO_x$  ont chuté de 82 % entre 1990 et 2010. Concrètement, l'apport des pluies ne dépasse pratiquement pas 10 kg/ha aujourd'hui. Un bénéfice pour la santé humaine mais qu'il faut compenser aujourd'hui par des apports d'engrais minéraux sur quasiment toutes les cultures.



Émissions atmosphériques en  $SO_2$  par secteur en France métropolitaine (en kt)



Source: CITEPA

# Le magnésium

Le magnésium (Mg) est indispensable à de nombreux processus notamment sur la synthèse, le transport et le stockage des sucres mais également la synthèse des protéines (en étant un composant des pectines et phytines qui ont un rôle structural dans la paroi des cellules végétales). Il favorise également une meilleure résistance aux maladies.

Le magnésium joue un rôle particulièrement important dans la production de chlorophylle : 20 à 25 % du magnésium total de la plante se situe dans les chloroplastes.

Le magnésium a, comme le calcium, la spécificité d'avoir des rôles fondamentaux pour le végétal, mais aussi des effets sur le fonctionnement même du sol.

## Cycle du magnésium

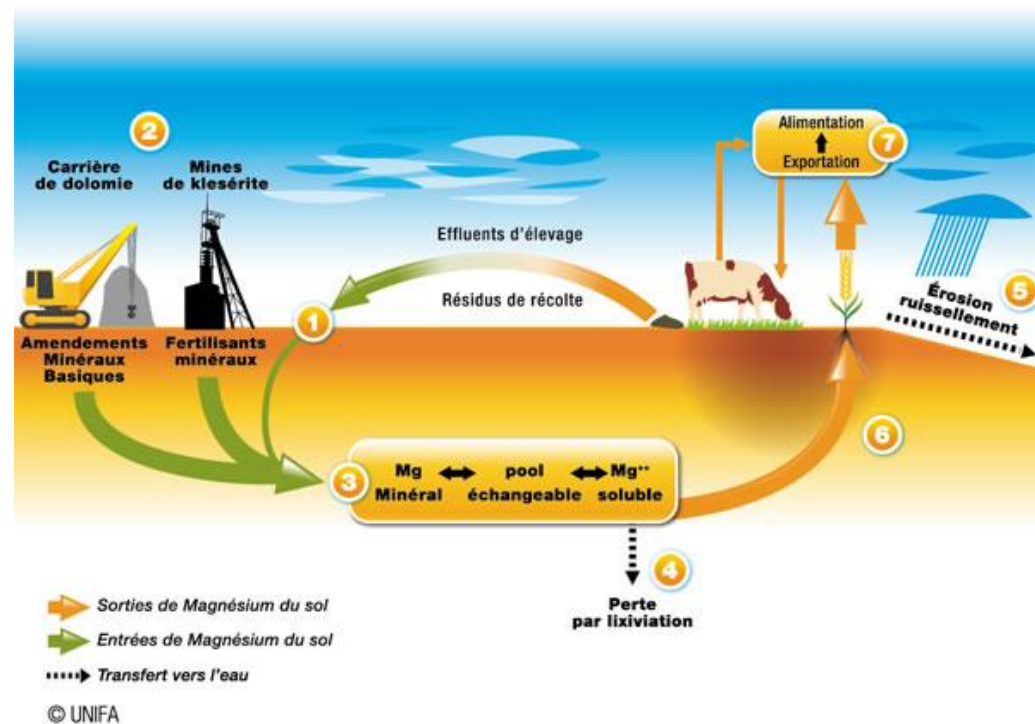
Le magnésium provient principalement des extractions minières sous forme de carbonate de magnésium dans la dolomie (roche essentiellement constituée de carbonate de magnésium et de calcium). On l'extrait également sous forme d'oxyde, d'hydroxyde ou encore de sulfate de magnésium (ou kieserite) dans des mines souterraines. Le magnésium se retrouve ensuite dans les résidus de cultures ou amendements organiques liés à l'élevage ou la méthanisation, restituant au sol une partie de cet élément absorbé par les plantes.

Les pertes du sol en magnésium sont principalement dues aux exportations des cultures, au lessivage, au ruissellement et à l'érosion. C'est un élément plus mobile que le potassium dans le sol. Les pertes par lixiviation sont très variables suivant la nature du sol et la quantité de magnésium biodisponible. Des mesures effectuées en lysimètre ont mis en évidence, dans les sols sableux des Landes et dans les argilo-calcaires du Massif Central, des pertes pouvant atteindre 75 à 100 kg MgO/ha/an mais par ailleurs inférieures à 4 kg MgO/ha/an dans les sols de craie de Champagne.

Le magnésium est un élément absorbé par les racines des plantes sous la forme de l'ion  $Mg^{++}$ .

## Apports organiques, quid de la disponibilité du magnésium ?

Les produits résiduaux organiques contiennent du magnésium qui est en quasi-totalité sous forme minérale assez rapidement disponible. Le magnésium apporté avec ces produits doit être pris en compte de la même façon que celui des engrais minéraux magnésiens.



**La majorité des sols français est correctement pourvu en MgO. Par conséquent la problématique est beaucoup plus la disponibilité de ce magnésium, non assimilable du fait des excès de calcium et potassium.**

## Des antagonismes avec les autres éléments minéraux ...

Comme les autres cations (c'est-à-dire les éléments minéraux à charge positive), le magnésium en excès va s'opposer au prélèvement par les plantes de tous les autres éléments positifs : calcium, potassium mais aussi tous les oligo-éléments (sauf le molybdène). A l'inverse, tout excès de K<sub>2</sub>O ou CaO (voire Na<sub>2</sub>O) va limiter l'assimilabilité du magnésium. Les équilibres des cations sur la CEC et les rapports K<sub>2</sub>O/MgO et CaO/MgO sont donc des éléments importants à prendre en compte dans l'interprétation d'une analyse de terre et la construction d'un plan de fertilisation. Dans les sols très acides, en présence d'aluminium soluble, le magnésium peut être insolubilisé par précipitation avec des composés de l'aluminium. Il est libéré dès que le pH eau remonte, suite à un chaulage



**Surveiller le ratio K<sub>2</sub>O/MgO**  
 La présence trop importante de l'un des deux éléments peut bloquer l'absorption de l'autre



**Surveiller le ratio CaO/MgO**  
 La présence trop importante de l'un des deux éléments peut bloquer l'absorption de l'autre

## Azote et magnésium, en relation directe.

Le magnésium est en relation directe avec l'azote puisque tous les deux jouent un rôle primordial dans les processus photosynthétiques et chlorophylliens. Le magnésium est indispensable pour valoriser l'unité d'azote apportée.

Sur certaines espèces maraîchères fragiles, on estime qu'un manque de 20% de magnésium limite de 25% l'efficacité de l'azote.

## Magnésium et phosphore, une relation bénéfique peu connue

Le magnésium stimule la nutrition en phosphore du végétal, à la fois pour ses prélèvements et son transport interne. Dans les sols où le phosphore s'assimile mal (pH alcalin, manque de porosité, réchauffement difficile...) le soutien en magnésium et dans ce cas de préférence par voie foliaire est très souvent plus efficace sur la nutrition en phosphore que l'apport de phosphore lui-même.

## Le magnésium, un élément soumis aux stress climatiques

Le magnésium a la caractéristique d'être un élément « climatique ». Sa migration interne dans le végétal est totalement sous la dépendance de la régularité thermique. Ainsi, dans les périodes de forts écarts thermiques, fréquents en fin de printemps, il n'est pas rare sur les espèces sensibles, la vigne par exemple, d'observer des symptômes de carences magnésiennes, sans que cela ne soit un problème de disponibilité au sol.

## Et les apports par voie foliaire ?

Le magnésium pénètre bien par voie foliaire et migre facilement dans le végétal, sous une forme simple (similaire aux sulfates pour le soufre). Ce soutien foliaire est d'autant plus efficace qu'il est fait en anticipation des séquences climatiques difficiles. Il est nécessaire également de faire attention aux risques de « sur-pénétration », et donc de phytotoxicité, avec certaines formes chélatées ou à support azoté.

## Quelles stratégies d'apport ?

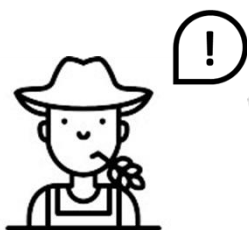
Si les quantités de magnésie présentes dans le sol ne sont pas suffisantes, un apport au sol mais sans dépasser 60 kg/ha/an de MgO doit être réalisé.

### Et la forme ?

Les fertilisants magnésiens apportent le magnésium sous trois formes : le sulfate, l'oxyde et le carbonate.

- Les sulfates de magnésium (dont la kiesérite  $\text{MgSO}_4$ ) sont solubles dans l'eau et utilisables sur tous types de sols.
- Les oxydes et carbonates sont commercialisés soit comme amendements minéraux contenant du magnésium, soit comme engrais. Ils sont peu solubles dans l'eau, et présentent un intérêt dans les sols acides car ils permettent aussi de corriger l'acidité du sol.

Les carbonates sont déconseillés en sols neutres ou basiques. Les oxydes et hydroxydes sont utilisables en sols neutres et basiques, mais pour ces derniers ils peuvent s'avérer moins efficaces que le sulfate de magnésium.



La kiesérite est une roche minérale naturelle issue de la cristallisation de l'eau de mer (il y a 200 millions d'années). Elle est extraite à partir de mine.

## Des effets de la magnésie sur les propriétés du sol

### Des effets sur le pH :

La magnésie, c'est-à-dire l'oxyde de magnésium  $\text{MgO}$ , est particulièrement efficace pour redresser le pH d'un sol : 1,4 fois plus que  $\text{CaO}$ . Ainsi, la Valeur Neutralisante (voir chapitre calcium) d'une dolomie (à 30% de  $\text{CaO}$  et 21% de  $\text{MgO}$ ) est de 59, alors qu'elle ne serait que de 51 pour un carbonate de calcium dosant 51% de  $\text{CaO}$ .

Mais cette efficacité est souvent dangereuse car tout excès de  $\text{MgO}$  au sol va limiter la disponibilité du calcium par antagonisme. On rencontre assez fréquemment des sols à pH correct grâce à leur richesse magnésienne mais où il est nécessaire de continuer à apporter du calcium, sous forme très soluble (pour ne pas augmenter le pH), l'excès de  $\text{MgO}$  bloquant le calcium pour la nutrition de la plante. L'amendement avec des produits calco-magnésiens est donc à utiliser avec précaution, sur la base d'une analyse de sol.



**Privilégier des solutions à base de  $\text{CaO}$  pour redresser le pH d'un sol même si la magnésie possède une valeur neutralisante plus élevée.**

### Effet sur la structure du sol :

Dans le même ordre d'idée, l'excès de  $\text{MgO}$  participe à « défloculer » le sol, et donc à dégrader sa structure (moindre prise en mottes). En effet, le magnésium prend la place du calcium sur le complexe argilo-humique, mais sans en avoir le rôle agglomérant de ce dernier.

### Effet sur la salinité :

Par ses caractéristiques ioniques et atomiques, le magnésium augmente la salinité des sols. Si ce problème est encore peu fréquent en France, il est particulièrement grave dans certaines régions du monde recevant moins de précipitations.



## Les carences en magnésium

Les quantités nécessaires aux plantes, peuvent être fournies par la plupart des sols, et les carences se limitent à des situations particulières.

### Les symptômes

Sur betterave, pomme de terre ou colza : les carences en magnésium sont visibles sur les feuilles les plus âgées, avec des chloroses internervaires partant du bord et de la pointe des feuilles pour coloniser toute la surface foliaire. Un liserait vert persiste autour des nervures.

Sur céréales : Les feuilles affectées sont vertes pâle, avec une répartition en damier de la chlorophylle. Les feuilles souffrant d'une carence en magnésium plus sévère se nécrosent sur les bords.

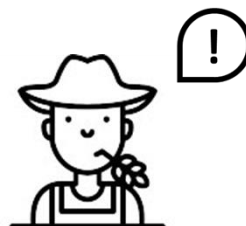


### Symptôme de carence sur les variétés de colza résistantes au TuYV

La résistance à la virose TuYV des colzas est désormais quasi généralisée sur les variétés modernes. Pour les variétés portant le gène spécifique, des symptômes similaires aux carences en magnésium peuvent apparaître courant du printemps. Des études sont menées mais cela ne semble pas affecter le potentiel des variétés et l'apport en foliaire de magnésie ne semble pas non plus avoir d'impact positif.

### Situations davantage à risques :

- Sols sableux
- Sols acides
- Sols riches en potassium
- Sols recevant de fortes quantités de potasse
- Périodes froides et humides



Si une carence en magnésium est observée, un apport en foliaire est à réaliser.

