

## 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).

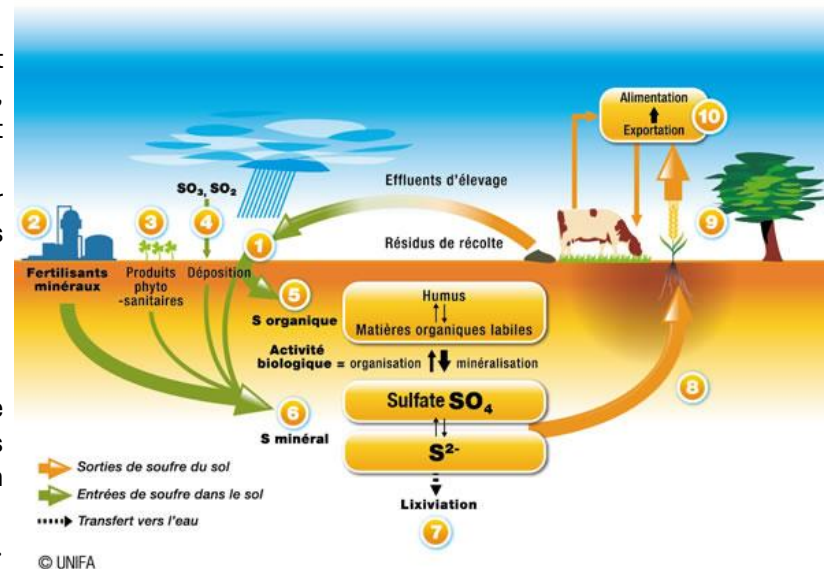
Le produit final en est toujours l'ion sulfate  $\text{SO}_4^{--}$ , forme que la plante peut absorber. L'ion sulfate n'est pas retenu dans le sol, il est très facilement lessivé pendant l'hiver.

Une autre forme minérale de soufre, l' $\text{H}_2\text{S}$ , peut apparaître en milieu réduit comme les sols inondés. Cette forme peut être toxique à une certaine concentration pour les plantes.

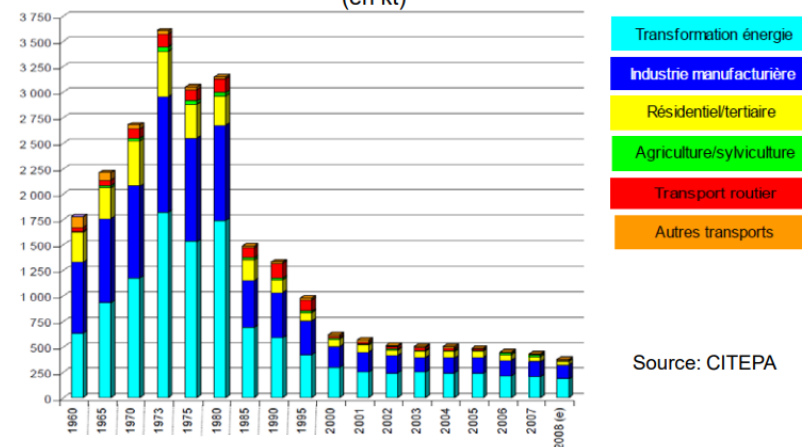
### Un élément devenu majeur avec la diminution des retombées atmosphériques

Le soufre, présent dans l'atmosphère essentiellement sous forme de dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), 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  $\text{SO}_x$  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  $\text{SO}_2$  par secteur en France métropolitaine (en kt)



Source: CITEPA

## Des besoins différents selon les cultures

Comme tous les autres éléments minéraux, les besoins en soufre sont différents selon les cultures. La culture la plus exigeante est le colza avec des besoins (minéralisation comprise) de l'ordre de plus de 100 U/ha.

Le soufre et l'azote sont deux éléments extrêmement liés et les périodes de besoin en ces deux éléments minéraux sont identiques. Par simplification, le soufre est souvent apporté en totalité en sortie hiver lors du premier passage d'azote mais il est mobilisé tout au long du cycle de croissance végétatif printanier de la plante. L'intégralité du soufre est absorbée à la formation du grain pour les plantes à graines et courant août pour les plantes type pomme de terre/betterave comme le montre le graphique ci-contre.

### Quelle quantité de soufre apporter ?

Aujourd'hui, il n'est pas encore possible de raisonner la fertilisation soufrée avec une approche du type bilan prévisionnel. Les organismes de développement agricole et de conseil de tous les pays européens ont donc adopté un système empirique en matière de fertilisation soufrée, basé sur le type et le système de cultures, le rendement potentiel et le type de sol.

En France, les recommandations concernent essentiellement le colza et les céréales.

### Quantités de soufre à apporter pour les principales cultures (sources instituts)



Colza : apport forfaitaire de 75 U/ha



Céréales : raisonner en fonction du tableau ci-contre

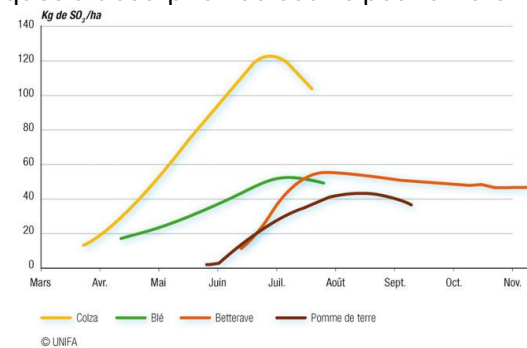


Betterave et pomme de terre : la minéralisation suffit à couvrir les besoins dans la majorité des situations

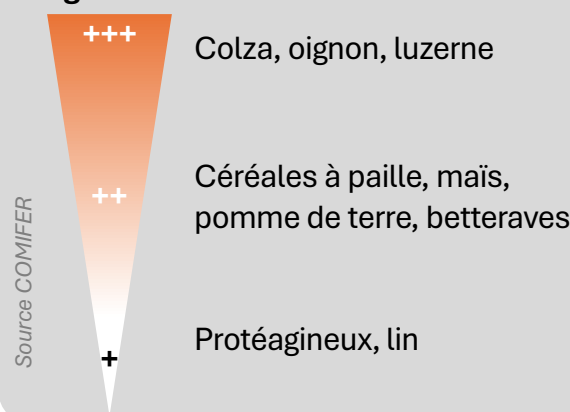


Maïs : sur les sols filtrants avec une pluviométrie hivernale importante, apporter 25 à 50 kg/ha de SO<sub>3</sub>

## Cinétiques d'absorption du soufre pour différentes cultures



### Exigence en soufre des différentes cultures



	Pluviométrie 1 oct. au 1er mars	Objectif de rendement 80 q/ha		Objectif de rendement 110 q/ha		Avec apport régulier de fumier ou compost (>1 an sur 3)	
		Précédent apport SO <sub>3</sub> >60	Autres cas	Précédent apport SO <sub>3</sub> >60	Autres cas	Précédent apport SO <sub>3</sub> >60	Autres cas
<b>Risques élevés, sols superficiels filtrants</b> <small>Argilo calcaire superficiel, sol sableux, limon caillouteux à silex</small>	>250 mm	50	50	70	70	20	30
	faible (<250 mm)	20	30	40	50	0	0
<b>Risques moyens</b> <small>Argilo-calcaires moyens, sols de craie, limons et limons sableux battants (teneur en MO faible)</small>	forte (>400 mm)	40	40	60	60	0	0
	normale	20	30	40	50	0	0
<b>Risques faibles</b> <small>Sols profonds sains, limon argileux profond, limon franc</small>	faible (<300 mm)	0	0	20	40	0	0
	forte (>400 mm)	30	30	50	50	0	0
	normale	0	20	20	40	0	0
	faible (<300 mm)	0	0	20	20	0	0

Pour les céréales de printemps, diminuer de 20 U/ha la dose

## Analyse du sol, peu de mesures spécifiques du soufre

En France, contrairement à l'azote, on ne dispose pas de méthode d'analyse de sol opérationnelle qui puisse être utilisée à large échelle pour prévoir et quantifier les sulfates disponibles du sol. Quelques laboratoires mettent en œuvre la méthode Scott, effectuée sur le même échantillon de terre que celui utilisé pour la mesure du reliquat azoté d'hiver. Cette méthode extrait une partie du soufre organique facilement disponible pour la culture mais l'absence de méthode du bilan pour cet élément rend l'utilisation de cette valeur difficile pour faire des préconisations.

Des analyses de sève réalisées entre épi 1cm et 2 nœuds semblent plus appropriées pour connaître et éventuellement corriger les apports de soufre.



**Pour connaître le statut de l'alimentation soufrée de la plante, privilégier des analyses de sève.**

## Engrais soufrés, plusieurs formes disponibles

Trois formes sont les plus répandues :

- le sulfate ( $\text{SO}_4^{--}$ )
- le thiosulfate ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ )
- le soufre élémentaire (S)

Les 2 derniers nécessitent une oxydation par les micro-organismes du sol pour les rendre assimilables par les plantes (les micro-organismes oxydent le soufre pour le rendre bio disponible pour la plante sous forme sulfate).

## Soufre en application foliaire : nutrition ou protection des cultures ?

Des solutions en application foliaire sont également disponibles, souvent à base de soufre micronisé (soufre de petite taille,  $100\% < 40\mu$  et  $80\% < 10\mu$ ).

Le soufre élémentaire S en pulvérisation foliaire prévient plusieurs maladies comme l'oïdium sur plusieurs cultures ou la septoriose du blé cependant le stade d'application et la faible quantité assimilable par voie foliaire limitent l'effet nutritionnel de cet apport. Ce sont également des formes très coûteuses par rapport à celles apportées au sol sous forme granulés.

## $\text{SO}_3$ , $\text{SO}_4^{--}$ , S ... Plusieurs formes, attention à l'interprétation.

Selon la réglementation française pour l'étiquetage des engrais, leur teneur en soufre doit être exprimée en  $\text{SO}_3$  alors que cette forme n'existe pas dans les engrais. Dans la plupart des autres pays, elle est exprimée en S. Des confusions ou interprétations erronées de données peuvent en découler notamment vis-à-vis des formes micronisées.



Pour convertir S en  $\text{SO}_3$ , il faut multiplier par 2,5 : teneur  $\text{SO}_3$  = teneur S x 2,5. S'assurer lors du choix du produit d'avoir assez de quantités de  $\text{SO}_3$  pour combler les besoins de la culture !

La forme  $\text{SO}_4^{--}$  est quant à elle la seule capable d'être absorbée par les plantes.





## Les carences en soufre

Apparition des symptômes à partir de fin tallage - début montaison en s'accroissant jusqu'au stade dernière feuille (soufre et azote ont la même dynamique d'absorption).

### Les symptômes

Les zones atteintes sont réparties en foyers et parfois par bandes correspondant au recoupement de passage pour l'épandage d'azote car les zones sur-fertilisées en azote extériorisent en premier la carence.

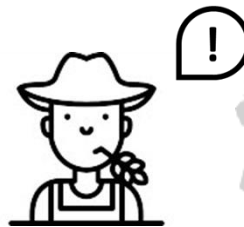
Ce sont toujours les feuilles les plus jeunes qui extériorisent en premier les symptômes.

**Pour les céréales** : si la carence est précoce, croissance réduite (-10 à -30 %) et tallage réduit. Entrenœuds plus courts.

Les feuilles les plus jeunes ont un aspect vert pâle qui peut être plus marqué à la base du limbe. Des stries jaunes ou vert clair le long des nervures sont marquées.

La carence en soufre ne s'extériorise pas toujours par des symptômes visuels ; des pertes de rendement jusqu'à 10 q/ha peuvent passer inaperçues.

**Pour le colza** : jaunissement des feuilles apparaissant d'abord sur le pourtour entre les nervures pour ensuite se généraliser. La floraison du colza est inhibée et les fleurs déformées.



Si une carence en soufre est observée apporter 20 à 40 kg/ha de SO<sub>3</sub>, de préférence en pulvérisation foliaire de solution à 10% de sulfate d'ammonium ou sous forme de soufre micronisé.



### Situations davantage à risques :

- Sols superficiels et filtrants
- Sols pauvres en MO ou ne recevant pas d'apport régulier d'amendements organiques
- Pluviométrie élevée (lessivage)