

Et si on parlait du Soufre?

LE SOUFRE, ÇA COMPTE !

Le soufre est l'un des six principaux nutriments favorisant la croissance des plantes. C'est un composant essentiel des acides aminés, des co-enzymes et des vitamines. Pour que leur teneur en protéines et leur qualité soient satisfaisantes, les cultures doivent pouvoir disposer d'un apport suffisant en soufre. Depuis que des mesures environnementales ont permis l'amélioration de la qualité de l'air dans les pays industrialisés, les retombées atmosphériques de soufre ont chuté considérablement. Parallèlement, les attentes en terme de rendement et de qualité se sont renforcées. Ensemble, ces facteurs expliquent le regain d'attention porté au soufre dans la fertilisation.

Ce numéro de Pur Nutriment est consacré à l'utilisation du soufre dans les pratiques de fertilisation actuelle.



Knowledge grows

Sulfureux... – mais essentiel

Le soufre, comme l'azote, est un élément essentiel à la vie. Souvent liés dans les processus biologiques, ils forment un tandem indissociable. Mais dans une fertilisation dominée par l'azote, le soufre a longtemps été relégué au second plan. Aujourd'hui, il regagne la place qu'il mérite : celle de nutriment et de complément indispensable à une efficacité optimale de l'azote.

POURQUOI LE SOUFRE?

Le soufre joue un rôle fondamental dans la vie sur terre. Il est présent sous différentes formes :

- le soufre élémentaire (S), le sulfite (SO_3^{2-}), le sulfate (SO_4^{2-}) et la pyrite (FeS) dans le sol.
- le sulfure d'hydrogène (H_2S) et le dioxyde de soufre (SO_2) dans l'atmosphère.
- le sulfate (SO_4^{2-}) dans les océans.

Le soufre élémentaire n'est pas immédiatement disponible pour les plantes : il doit d'abord être minéralisé. Présent dans toutes les plantes cultivées, il joue un rôle important dans le métabolisme des plantes. C'est l'un des six nutriments les plus importants.

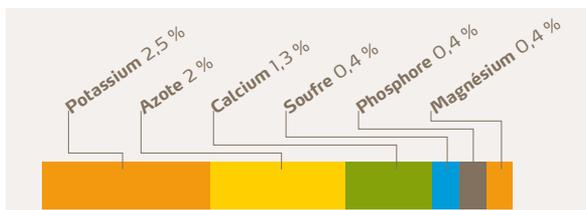


Figure 1 : Le soufre se classe parmi les six plus importants nutriments pour les plantes.

LE SOUFRE RIME AVEC QUALITÉ

La plupart des composés contenant du soufre renferment également de l'azote, ce qui souligne le lien étroit qu'entretiennent ces deux éléments. Le soufre fait partie d'une enzyme nécessaire à l'absorption de l'azote et une carence en soufre peut être un frein important dans le métabolisme de l'azote. Conjugué à l'azote, le soufre permet la formation d'acides aminés nécessaires à la synthèse des protéines. On le trouve dans les acides gras et les vitamines, et il a une influence importante sur la qualité et les propriétés organoleptiques des cultures. Le soufre intervient aussi essentiellement dans la photosynthèse, le métabolisme énergétique général et la production d'hydrates de carbone.

Les cultures de la famille des crucifères telles que le colza ou la moutarde ont des besoins très importants en soufre qui entre dans la composition des glucosinolates dont la teneur doit être contenue. L'ail et les oignons ont besoin de soufre pour produire les allines. Ces deux substances végétales secondaires ont, non seulement un impact déterminant sur l'odeur et le goût des plantes, mais elles améliorent aussi leur résistance et leur capacité d'autodéfense. Chez les légumineuses, le soufre est nécessaire à la fixation de l'azote de l'air.

LA CARENCE EN SOUFRE : SOUVENT NÉGLIGÉE

Jusque dans les années 90, la nutrition soufrée n'était pas un sujet de préoccupation, puisque les émissions de dioxyde de soufre d'origine industrielle garantissaient un apport suffisant et quasi-automatique. Mais sous l'effet des réglementations environnementales relatives aux pluies acides et des carburants à faible teneur en soufre en particulier, ces émissions ont beaucoup baissé. Dans le même temps, les attentes en terme de rendement et de qualité, ont entraîné une augmentation de l'absorption de soufre au champ. Si les carences en soufre étaient relativement rares il y a 20 ans, elles sont aujourd'hui beaucoup plus répandues.

Les carences en soufre sont plus fréquentes dans les conditions suivantes :

- Des sols légers et sableux assez pauvres en matière organique (> teneur en soufre réduite)
- Des précipitations élevées pendant l'hiver (> lixiviation du soufre)
- Un printemps sec (> faible mobilité des sulfates)
- Des températures basses (> faible minéralisation)

- Faible apport en matière organique (> apport réduit en soufre)
- Culture éloignée des sites industriels (> faibles dépôts)



Figure 2 : Les émissions et les retombées de soufre ont nettement chuté suite aux réglementations environnementales [1].

NE PAS ATTENDRE L'APPARITION DES SYMPTÔMES

La carence en soufre est parfois difficile à distinguer d'une carence en azote, à laquelle elle pourrait être liée. Ses symptômes sont le jaunissement des jeunes feuilles, conséquence d'une faible production de chlorophylle. La croissance est généralement diminuée. Pour les céréales, le nombre des talles est réduit. Pour le colza, la floraison vire au blanc et les feuilles se tordent. En général, il ne faut pas attendre l'apparition de symptômes marqués pour apporter le soufre sous peine de pertes de rendement significatives. L'apport préventif en fonction du risque évalué est la meilleure stratégie. Les sub-carences sans symptôme sont beaucoup plus fréquentes que les carences prononcées.



Figure 3 : Aspect caractéristique d'un champ de céréales présentant une carence en soufre.



Figure 4 : Colza avec carence en soufre avancée (à gauche). Le développement est moindre, la floraison est éparse et chlorosée.



Figure 5 : Prairie présentant une carence en soufre (au fond).

Le soufre dans le sol

Le cycle du soufre dans le sol présente des similitudes avec le cycle de l'azote. Le soufre est présent dans différents compartiments interconnectés. Seule une faible part de ce soufre est immédiatement disponible pour la plante. Le reste doit d'abord subir des processus de transformation.

Quelles sont les spécificités du soufre ?

LES CULTURES PRÉFÈRENT LE SULFATE

Les racines des plantes ne peuvent assimiler le soufre que sous forme d'ions de sulfate (SO_4^{2-}). Les feuilles peuvent, elles aussi, assimiler le soufre de l'air sous forme de dioxyde de soufre (SO_2), mais cette source est négligeable. Tout le soufre organique présent dans le sol doit d'abord être minéralisé avant d'être disponible pour les plantes.

SOURCES DE SOUFRE

Présent sous forme organique dans l'humus du sol, apporté par les effluents d'élevage ou par les engrais minéraux, le soufre doit être transformé en sulfate avant d'être absorbé par les cultures. L'apport direct du soufre sous forme de sulfate dans les engrais minéraux évite ces processus de transformation.

Le soufre provenant d'engrais minéraux

Les engrais minéraux contiennent du soufre sous forme de sulfate. À la différence des composés soufrés organiques provenant du fumier, le sulfate des engrais est immédiatement disponible et facilement absorbé par les plantes. Le sulfate est extrêmement mobile dans le sol et atteint rapidement les racines. L'apport de soufre sous forme de sulfate, combiné à l'azote, en sortie d'hiver et au printemps constitue souvent la meilleure stratégie pour satisfaire les cultures exigeantes. En cas de carence aiguë, une application foliaire peut remédier rapidement à une carence en soufre. À l'opposé, quand on applique le soufre sous sa forme élémentaire S, une oxydation préalable par les microbes du sol est nécessaire, retardant d'autant l'absorption par la culture. De plus, le soufre a un fort effet acidifiant sur le sol.

Retombées atmosphériques

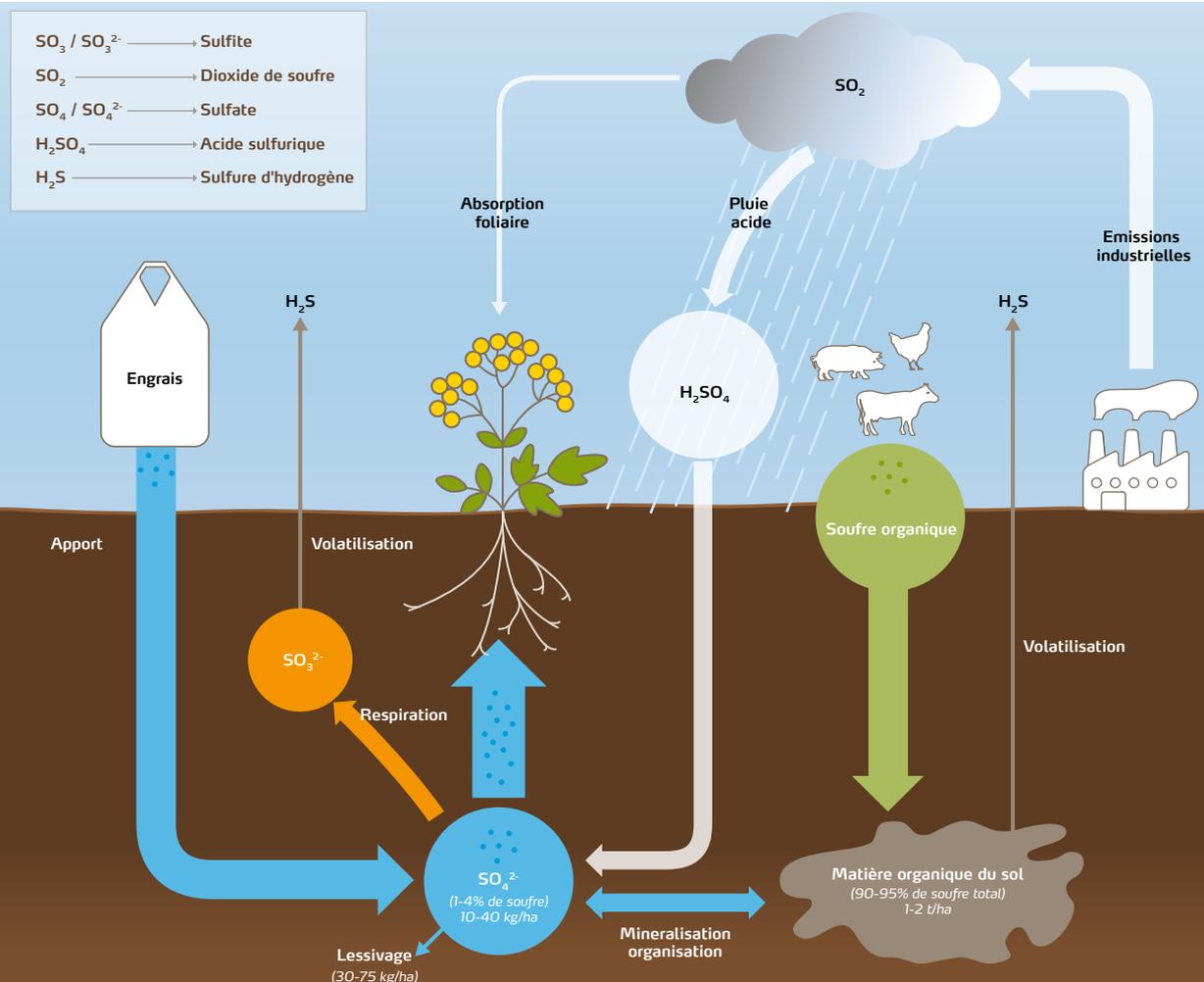
Le soufre est présent dans l'atmosphère essentiellement sous forme de dioxyde de soufre (SO_2), sous l'effet d'événements naturels (éruptions volcaniques) ou activités humaines (combustion de combustibles fossiles). Le soufre présent dans l'air peut pénétrer dans les feuilles sous forme de gaz de dioxyde de soufre. Mais la plus grande part du soufre atmosphérique pénètre dans le sol sous forme de pluie acide. Ces retombées ont nettement chuté et aujourd'hui ne dépassent pratiquement pas 10 kg/ha.

Fumier

Le fumier contient du soufre principalement sous forme de matière organique et doit donc être minéralisé avant de pouvoir être absorbé.

Lessivage du soufre

Comme l'azote sous sa forme nitrique, le soufre sous la forme sulfate est très mobile dans le sol et peut être lessivé par les pluies. Par conséquent, un apport fractionné de soufre au printemps au plus proche de l'absorption des cultures est la meilleure garantie d'une assimilation rapide, tout en minimisant les pertes. En général, les apports de soufre en automne sont exposés au lessivage hivernal et sont déconseillés.



Quelle est la bonne dose de soufre ?

Toutes les cultures n'ont pas les mêmes exigences en soufre. Pour certaines, le soufre provenant du sol sera suffisant, tandis que pour les cultures sensibles, d'importantes chutes de rendements surviendront en l'absence de fertilisation soufrée. A la différence de la fertilisation azotée, la fertilisation soufrée est souvent encore trop approximative.

Quelle est la bonne dose ?

LES BESOINS EN SOUFRE

Certaines cultures nécessitent davantage de soufre que d'autres. Le graphique suivant résume les besoins des différentes cultures ainsi que la quantité de soufre exportée du champ et celle contenue dans les résidus de culture. Plus la demande en soufre est élevée, plus grande est la sensibilité à la carence. Le colza a une absorption très élevée, mais la plus grande partie n'est pas exportée et reste dans les résidus végétaux.

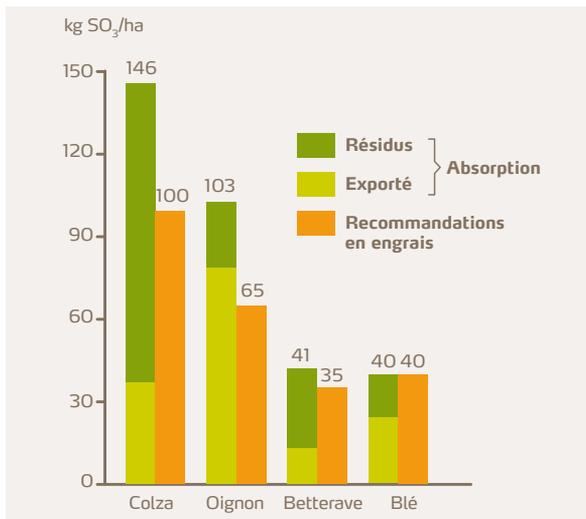


Figure 6 : Absorption de soufre par différentes cultures, répartition entre partie récoltée et résidus et conseil de fertilisation usuel [2][3].

DYNAMIQUE D'ABSORPTION

L'absorption totale de soufre est un aspect important, mais la dynamique de cette absorption l'est tout autant. Il convient, en effet, que chaque culture dispose d'une quantité de soufre satisfaisante à chaque phase de son développement. Pour les céréales, le colza ou la prairie, il est très fréquent qu'en fin d'hiver – début de printemps, à la reprise de végétation, la minéralisation du soufre par la matière organique du sol soit très insuffisante par rapport aux besoins instantanés de la culture. Ce décalage entre la fourniture du sol et le prélèvement de la plante est la cause majeure des carences et sub-carences rencontrées. Le colza est de loin la culture la plus exposée à ce risque qui peut engendrer des pertes de rendement de 10 – 20 q/ha en l'absence d'apport de soufre par les engrais minéraux.

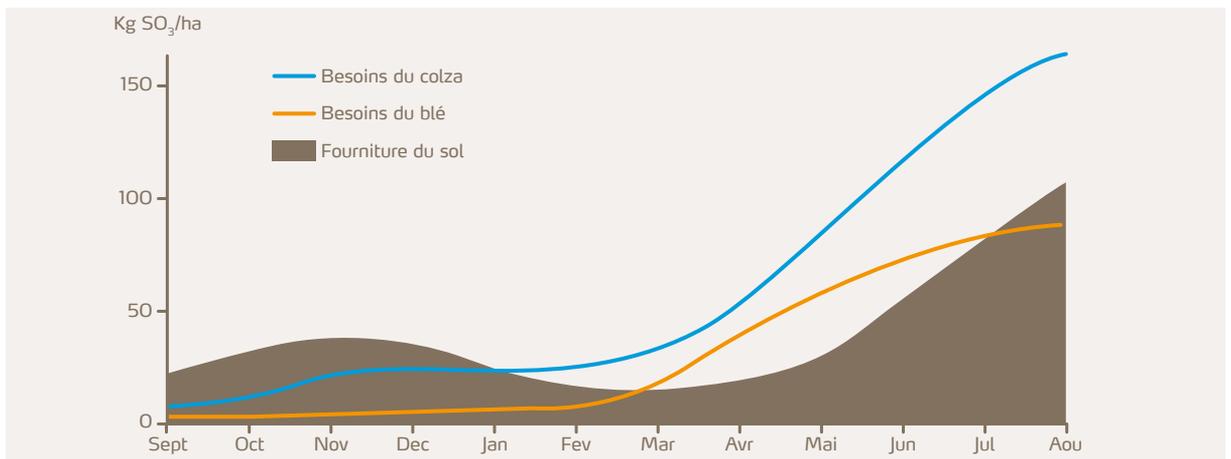


Figure 7 : En général, la fin d'hiver et le début du printemps sont des phases critiques pendant lesquelles l'offre du sol en soufre est largement insuffisante comparée aux besoins des cultures, notamment le colza et les céréales d'hiver. Ce phénomène est accentué dans le cas d'hiver très pluvieux avec un fort lessivage des sulfates [5].

DIAGNOSTIC DE NUTRITION

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 biodisponibles du sol. Des méthodes analytiques existent mais demeurent encore à l'état expérimental et ne sont pas utilisées en routine. Il n'est donc pas encore possible de raisonner la fertilisation soufrée avec une approche du type bilan prévisionnel Comifer.

ANALYSE DES VÉGÉTAUX

La teneur en soufre dans les végétaux est un indicateur fiable de carence en soufre dans la mesure où les résultats analytiques sont connus rapidement afin de pouvoir procéder à une fertilisation corrective. Selon les stades, les teneurs en soufre des principales cultures dépassent souvent 0.3% de la matière sèche et jusqu'à 0.45% pour le colza. Les ratios N:S constituent également un indicateur intéressant. Le service Yara Mégalab permet une analyse de végétaux rapide et fiable afin d'accompagner le raisonnement de la fertilisation soufrée.

Culture	Ratio typique N:S
Colza, moutarde, chou, bulbes	5:1
Blé, maïs, betterave, pommes de terre	10:1
Légumineuses	5 – 8:1
Graminées	8 – 12:1

Tableau 1 : Les ratios N:S sont des indicateurs utiles de l'état de la plante et de ses besoins en nutriments [4].

GRILLES DE RISQUES SOUFRE

Le raisonnement actuel de la fertilisation soufrée est basé sur une approche entrée-sortie combinée à une évaluation du risque de carence. Différents organismes et instituts ont développé des grilles de risques intégrant les principaux paramètres culture – historique cultural – sol – climat. Aujourd'hui, la meilleure façon de prévoir la fertilisation soufrée des cultures demeure l'utilisation de ces grilles de risques pour les céréales et la prairie et la systématisation des apports de soufre sur le colza, compte-tenu de sa très forte exigence.



Apporter du soufre – Cela vaut-il le “coût” ?

Considérations agronomiques et économiques ne sont pas toujours convergentes à court terme. La dépense supplémentaire que représente une fertilisation soufrée est-elle un bon investissement ? La réponse dépend bien sûr des cultures et des caractéristiques du sol. Par ailleurs, il faut tenir compte des stratégies agricoles.

Lorsque l’on vise à la fois qualité et hauts rendements, la fertilisation soufrée ne peut pas être négligée.

BLÉ : AUGMENTATION DU RENDEMENT ET DU TAUX DE PROTÉINES

Le soufre est essentiel dans les stratégies de fertilisation dont l’objectif est de parvenir à la meilleure qualité. La figure 8 montre le résultat d’essais au champ réalisés en Allemagne, pour différents scénarios.

Les rendements et le taux de protéines ont été comparés pour des stratégies d’application moyenne et intensive en azote. Les résultats montrent le potentiel du soufre dans des stratégies de culture à valeur élevée

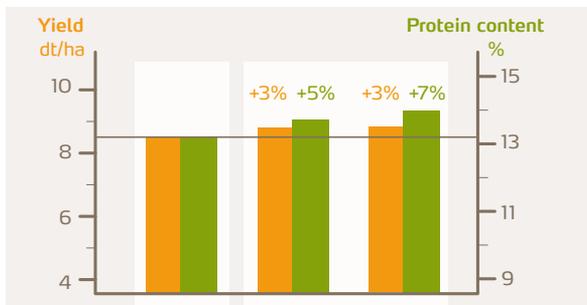


Figure 8: Comparaison du rendement et du taux de protéines pour différentes stratégies de fertilisation. Une nutrition optimale permet une augmentation de 7% du taux de protéines [6].

PRAIRIE : ÉNERGIE, VALEUR GAGNANTE

Sur prairie, l’apport de soufre permet non seulement une augmentation de rendement mais également une meilleure valeur énergétique, une augmentation des matières azotées digestibles et une teneur en fibre plus élevée. L’apport fractionné de soufre s’est également révélé une meilleure stratégie que l’apport unique (figure 9).

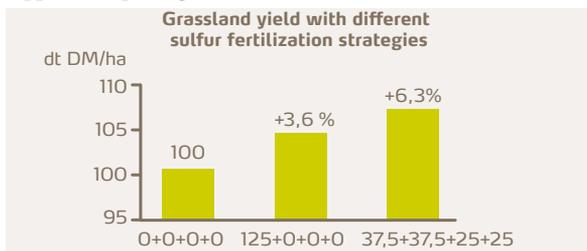


Figure 9: Augmentation de rendement de 3.6% avec un apport de 125 kg de soufre à la 1ère coupe. L’apport de soufre fractionné avec l’azote permet un gain de rendement de 6.3%, moyenne de 3 essais Yara Allemagne [7].

COLZA ET SOUFRE

La forte exigence en soufre du colza est une évidence. Le colza mobilise jusqu’à 180 kg de SO₃/ha. En France entre 15 et 30% des surfaces de colza ne reçoivent cependant pas de fertilisation soufrée spécifique. En moyenne, dans les conditions françaises, un apport de 75 kg SO₃/ha constitue l’apport optimal. L’enjeu rendement en cas de carence en soufre se situe autour de 3 à 4 q/ha en moyenne mais peut atteindre 15 à 20 q/ha en cas de fortes carences.

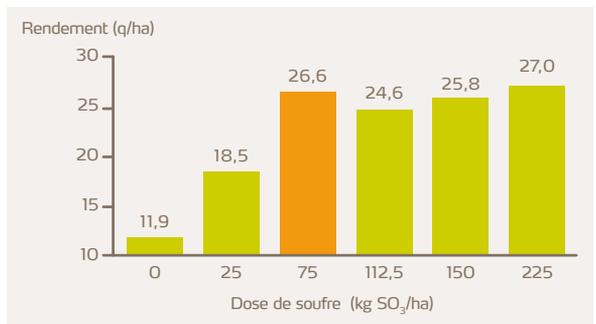


Figure 10: L’apport optimal de soufre est de 75 kg/SO₃ [8]

GAINS DE RENDEMENT ET DE MARGE

De nombreux essais ont démontré l’intérêt économique d’une fertilisation azotée et soufrée équilibrée.

Culture	Prix moyen* (€/t)	Gain de rendement (q/ha)		Gain marge (€/ha)
		Moyen	Maxi	Moyen
Colza	430	4,2	17,6	181
Blé	220	1,4	5,6	31
Betterave sucrière**	373	3,1	5,6	116
Pomme de terre	120	7,1	11,6	85
Prairie	130	7,7	11,6	100

*Source: Eurex 2012 **En fonction du rendement corrigé en sucre

Tableau 2: Pour la plupart des cultures, le rendement et les bénéfices augmentent nettement quand on utilise des engrais azotés soufrés [9].

YaraBela® Sulfan® – une synergie parfaite

Les engrais haute performance de la gamme YaraBela® Sulfan® contiennent de l'azote et du soufre pour une synergie optimale. Grâce à leurs qualités physiques et chimiques, ils garantissent des performances et des rendements sans équivalent.

YaraBela® Sulfan® - la valeur ajoutée des ammonitrates Yara.

ADAPTÉS À TOUTES LES CULTURES

Les engrais granulés YaraBela® Sulfan® sont conçus pour un épandage particulièrement performant. Ils sont fabriqués, en Europe et notamment en France à Montoir-de-Bretagne (44), conformément à des exigences environnementales strictes et les standards élevés de la qualité Yara. Les engrais YaraBela® Sulfan® contiennent, dans chaque granulé, de l'azote sous forme nitrique et ammoniacale, et du soufre sous forme de sulfate de calcium, ce qui garantit une efficacité optimale de l'azote et du soufre. YaraBela® Sulfan® est un pur nutriment, qui correspond parfaitement aux besoins de la fertilisation raisonnée :

- l'azote et le soufre apportés simultanément assurent à la fois gain de temps et totale complémentarité de ces deux nutriments
- de l'ammonitrate, pour une efficacité optimale de l'azote
- du sulfate de calcium, pour une mise à disposition optimale du soufre
- une granulométrie idéale pour un épandage précis même en grande largeur
- une solubilité élevée des éléments pour une dynamique d'absorption optimale
- un large choix d'équilibres azote/soufre pour une stratégie d'apports sur mesure en un ou plusieurs passages

YaraBela® Sulfan® est le choix qui s'impose naturellement aux agriculteurs soucieux du rendement et de la qualité.



	N	SO ₃	MgO
YaraBela® Sulfan® 30+7	30	7	
YaraBela® Sulfan® 24+18	24	18	
YaraBela® Nitrovert®	24	19	4

Plus d'informations sur www.yara.fr/agriculture/engrais/yarabela/

Si vous souhaitez des informations sur les ammonitrates, consultez la brochure « Les ammonitrates, Optimiser le rendement, préserver l'environnement. » sur notre site : www.yara.fr/agri

Pour les contenus multimédia, visitez notre chaîne YouTube : www.youtube.com/yarainternationalasa



YARA EN BREF

Yara International ASA est une entreprise norvégienne implantée dans le monde entier. Premier fournisseur d'engrais minéraux au monde, Yara contribue, depuis plus d'un siècle, à la production alimentaire et à la fourniture d'énergie renouvelable pour une population mondiale en croissance. Fort d'une longue expérience de la production des engrais et d'une solide connaissance de la nutrition des cultures, Yara fournit des produits de qualité et accompagne les agriculteurs dans de nombreux pays à travers le monde.

Pour tout renseignement complémentaire, n'hésitez pas à nous contacter.

ISSN 2257-5197

Yara France
Immeuble OPU512
77, Esplanade du Général de Gaulle
CS 90047
92914 PARIS LA DEFENSE

Tél : 01 55 69 96 00
Fax : 01 55 69 98 74
contact-fr@yara.com

www.yara.fr



Sources bibliographiques

- [1] European Environment Agency (2012): European Union emission inventory report 1990-2010 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). Copenhagen, Denmark.
- [2] A.R. Till (2010): Sulphur and sustainable agriculture. IFA, Paris, France.
- [3] Unifa, Fiche N°3 (2007): Soufre, indispensable à la synthèse des protéines. La Défense, Paris.
- [4] DLG-Merkblatt 373 (2012): Schwefel-Düngung effizient gestalten. Frankfurt/Main, Germany
- [5] Yara internal communication. Sulfan 29+9, du soufre à chaque apport d'azote.
- [6] YaraBela® SULFAN®. Schwefel ist Ährensache.
- [7] Yara internal communication. Grünlanddüngung unter Berücksichtigung der Schwefelversorgung.
- [8] J. Arens (2007): Schwefeldüngung, Ertragseffekte der Schwefeldüngung mit N/S-Dünger. Yara GmbH & Co. KG Dülmen