

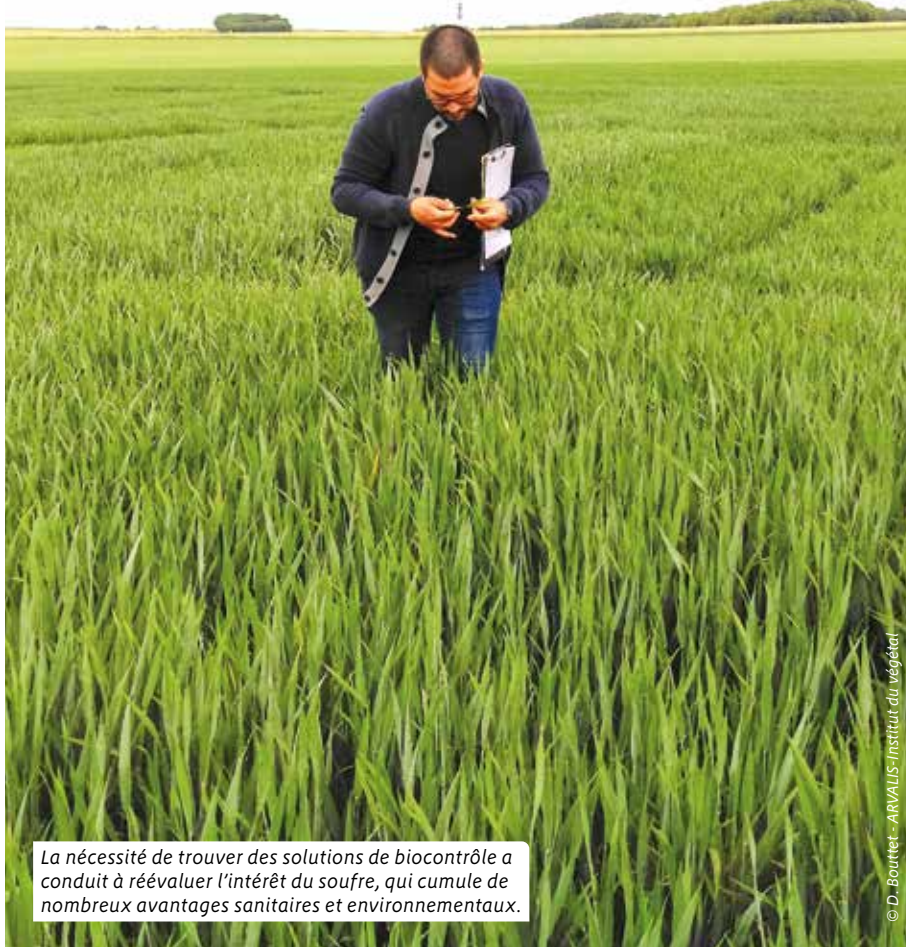
LE SOUFRE SUR BLÉ TENDRE

UNE SOLUTION DE BIOCONTRÔLE largement adoptée

Claude Maumené - c.maumene@arvalis.fr



Paloma Cabeza-Orcel - p.cabeza@perspectives-agricoles.com



La nécessité de trouver des solutions de biocontrôle a conduit à réévaluer l'intérêt du soufre, qui cumule de nombreux avantages sanitaires et environnementaux.

Le soufre bénéficie déjà depuis très longtemps d'une autorisation de mise sur le marché sur blé pour lutter contre l'oïdium et, depuis 2019, contre la septoriose. En peu de temps, il s'est imposé comme la solution de biocontrôle la plus utilisée sur blé tendre.

Substance minérale d'origine naturelle, le soufre est depuis peu l'objet d'un intérêt nouveau en raison, notamment, de son profil toxicologique et écotoxicologique favorable (encadré). Utilisé pour lutter contre l'oïdium dans les années quatre-vingt, il a peu à peu été délaissé au profit de solutions plus efficaces

© D. Bourlet - ARVALIS Institut du végétal

UN FONGICIDE À FAIBLE RISQUE

Le soufre répond aux critères de faible toxicité pour l'homme et l'environnement de la liste « Biocontrôle ». Il n'entre pas non plus, à la différence du cuivre, dans la liste des substances candidates à la substitution. Il est, par ailleurs, utilisable en agriculture biologique. Cependant, il est classé H318 (« provoque des lésions oculaires graves ») et est irritant : par contact avec la peau et les yeux, et par inhalation pour les voies respiratoires.

Répandu dans l'environnement aux doses recommandées, il est pris en charge par le cycle naturel du soufre. Dans le sol, le soufre est réorganisé en quelques jours en sulfates par des bactéries, ce qui en fait un élément nutritif pour les plantes. Le soufre n'est donc pas considéré comme éco-toxique. Il n'y a pas non plus de risque de bioconcentration ni de bioaccumulation du soufre, comme dans le cas du cuivre. Par contre, rejeté dans l'eau, milieu dans lequel il n'est pas soluble, le soufre ne se dégrade pas tant qu'il reste en suspension. Dans le cas d'accidents où la concentration de la suspension est élevée, les poissons peuvent être atteints.



Le soufre est aujourd'hui principalement extrait du gaz naturel et du pétrole brut, ou encore de biogaz riches en hydrogène sulfureux.

© ACPM-CIE

et plus pratiques d'emploi. D'autant qu'en parallèle, l'évolution des résistances variétales combinée à un usage plus raisonné de l'azote a conduit à un déclin de l'oïdium. Au point que le soufre était presque tombé dans l'oubli.

Le nouvel intérêt pour des solutions plus naturelles et, en particulier, pour les produits de biocontrôle a conduit à réévaluer le soufre à partir de 2016, notamment pour lutter contre la septoriose du blé. Depuis, certaines formulations de cette substance minérale ont obtenu une extension d'usage sur la principale maladie du blé (*zoom p.56*).

Biocontrôle, réduction d'IFT et gain de CEPP

En 2020, deuxième année d'utilisation du soufre après l'extension d'AMM pour un usage sur septoriose, les surfaces traitées représentaient, toutes céréales confondues, plus de 250 000 ha. Bien que d'efficacité partielle, l'inscription du soufre sur la liste des produits

phytosanitaires de biocontrôle a sans aucun doute contribué à son succès. Le soufre est en effet l'une des substances actives les plus représentées sur cette liste qui comprend environ 80 substances actives.

Le soufre bénéficie, de plus, d'un double avantage dans le dispositif des certificats d'économie de produits phytopharmaceutiques (CEPP). En effet, les produits de la liste biocontrôle n'entrent pas dans l'assiette prise en compte dans le calcul des obligations (de réduction) liées à la mise en œuvre des CEPP. Les produits à base de soufre font, en outre, l'objet d'une « fiche action » qui permet aux distributeurs de bénéficier (en fonction des usages autorisés) de 0,04 à 0,11 CEPP par litre ou par kilo de soufre distribué.

Par ailleurs, l'utilisation du soufre sur céréales participe au contrat de solutions déployé par la FNSEA et ses partenaires. Utilisé à 2400 g/ha en substitution partielle (50 %) du premier traitement des blés, le soufre a, en effet,

donné des résultats équivalents sur plusieurs années à une référence conventionnelle à sa dose pratique (100 %). Il permet donc d'économiser en théorie 0,5 IFT, ce qui, en généralisant son usage au premier traitement, représenterait plusieurs centaines de milliers de « doses unités ».

Une composante à part entière du premier traitement sur blé tendre

En pratique, son utilisation se concentre sur le blé tendre, seul ou associé, à l'occasion du premier traitement, généralement réalisé autour du stade « 2 nœuds » de la céréale (T1). C'est à ce stade que la septoriose progresse sur les dernières feuilles qu'il est important de protéger pour garantir un bon remplissage ultérieur du grain.

Le soufre peut être utilisé seul lorsque la pression de maladie est faible sur variété sensible, et en toutes circonstances sur variété peu sensible (sauf en cas de risque de rouille

ZOOM

LE SOUFRE EN PRATIQUE

Les formulations de soufre ont beaucoup évolué et se sont améliorées depuis le début des années quatre-vingt. Actuellement les sulfures utilisés sur céréales se présentent le plus souvent sous forme liquide et parfois sous forme de granulés à disperser dans l'eau (tableau 1). Ils sont donc plus pratiques à utiliser que des poudres.

Il est souvent avancé que la qualité de la formulation repose sur la finesse du broyage des particules de soufre. Des particules de diamètre supérieur à 100 microns sont en effet susceptibles de provoquer des bouchages au moment de la pulvérisation. À l'inverse, des particules trop fines (diamètre inférieur à 0,5 micron) pourraient induire une phytotoxicité ; celle-ci a été rapportée, par exemple, sur la vigne. Les formulations les plus récentes disposent d'une finesse de particules intermédiaire.

Quelques conseils simples à mettre en œuvre permettront d'éviter l'obturation des buses en cours de pulvérisation.

SOUFRE : vingt-neuf produits mais différentes formulations

Formulation	Concentration du soufre	Dose (litres ou kg par ha)	Spécialités fongicides commerciales
Suspension concentrée (SC)	800 g/l	10 l	Faeton SC, Actiol, Dartagnan, Startup
Suspension concentrée (SC)	700 g/l	6 l	Heliosoufre S, Biosoufre, Helioterpen Soufre, S 700, Vertisoufre, Sitia, Maxi-soufre, Combisoufre
Granulés à disperser dans l'eau (WG)	80 %	6 kg	Jubile
Suspension concentrée (SC)	825 g/l	7,28 l	Microthiol SP Liquide, Sultox Fluide LD, Microsofrol SC, Pennthiol Liquide, Citrothiol Liquide, Sulforix Rainfree, Penthiol Rainfree, Thopron Rainfree, Citrothiol Rainfree, Plantisoufre, Catzo SC
Granulés à disperser dans l'eau (WG)	80 %	10 kg	Thiovit Jet, Microthiol Special DG, Oidiase 80, Thiovit Pro, Kolthior

Tableau 1

Les formulations de soufre autorisées pour un usage sur septoriose du blé.

- **Au moment du remplissage du pulvérisateur** Les produits sous forme de granulés à disperser dans l'eau sont à incorporer avec un incorporateur sec car la présence d'eau peut causer la formation de grumeaux. Si le produit est introduit par le trou d'homme, il est important d'avoir l'agitateur en fonctionnement et de ne pas verser l'intégralité du produit en une seule fois, sous peine de voir se former un amas de produit au fond du pulvérisateur. Rincer immédiatement le circuit d'incorporation après utilisation pour éviter la formation de dépôts secs dans la tuyauterie.
- **Lors de la pulvérisation** Un point de vigilance est à apporter à la filtration. Il est tout d'abord conseillé de retirer les filtres de buses, sujets au bouchage et aux manipulations fréquentes ; un filtre à l'aspiration de pompe (25 à 30 mèches), un au refoulement (50 à 60 mèches) et un par tronçon (80 à 100 mèches) suffisent. L'angle des buses peut jouer un rôle. Privilégier un angle de 80° pour les buses à fente classique, moins sensible au bouchage que l'angle de 110°. Les buses à injection d'air étant composées d'une pastille de calibrage, l'angle a moins d'incidence sur le bouchage. Des expérimentations sont en cours pour voir si le volume de bouillie, et donc la concentration en produit, influencent sa fluidité.
- **Au rinçage du pulvérisateur** Il est conseillé de rincer le pulvérisateur après chaque utilisation du soufre. En effet, lors de la pulvérisation, des dépôts blanchâtres peuvent apparaître sur les parois de la cuve au fur et à mesure que le niveau de bouillie baisse. Ces dépôts séchent et sont difficiles à remettre en solution avec l'eau de rinçage. Les expérimentations en cours permettront également de définir un temps maximal de remise en solution. Par précaution et en attente de nouveaux résultats, on conseille un rinçage dans les 2h qui suivent l'application. Pour plus de détails sur le rinçage et les quantités d'eau nécessaires, rendez-vous sur <http://oad.arvalis-infos.fr/fondcuve>.

jaune). En pratique, il est le plus souvent utilisé associé à un triazole, afin de renforcer son activité sur septoriose et surtout pour compléter son spectre sur rouille jaune, au cas où. Dans ces conditions, sur le plan de l'efficacité, comme du coût, il concurrence sans difficulté des solutions de type prochloraze + triazole et triazole + chlorothalonil. Les dernières utilisations de chlorothalonil étant derrière nous, les surfaces traitées avec du

soufre pourraient encore progresser. Toutefois, le principal concurrent du soufre (et par extension du biocontrôle dans le contexte de 2020) est l'impasse de traitement : ne pas traiter au T1 du blé est désormais la règle. Pour autant, l'impasse du T1 ne doit pas être systématique mais raisonnée en fonction de la sensibilité variétale et des conditions climatiques.) Or les variétés résistantes représentent des surfaces de plus en plus importantes,

et les conditions de début de printemps ont été peu favorables ces dernières années à la septoriose. La percée du biocontrôle dans ces conditions n'en est que plus remarquable ! Sur d'autres cibles comme les fusarioses de l'épi du blé ou les maladies des orges, les essais ont été jusqu'ici peu concluants, pour le soufre comme pour toutes les autres solutions de biocontrôle étudiées. Les utilisations de soufre pour d'autres usages sur céréales que la septo-



Le soufre utilisé sur céréales se présente le plus souvent sous forme liquide ou de granulés à disperser dans l'eau (WG), plus pratiques à utiliser que des poudres.

© C. Maumene - ARVALIS - Institut du végétal

riose du blé devraient donc rester limitées. Demain, le soufre devrait trouver de nouveaux partenaires avec les phosphonates. Le premier d'entre eux, un phosphonate de potassium pour un usage sur céréales, est attendu en 2022. Les associations de soufre et de phosphonates, dont les efficacités s'additionnent, ont démontré leur complémentarité sur septoriose. Le mélange, plus robuste, reste toutefois insuffisant sur rouille jaune. Il pourrait trouver sa place au premier traitement, en cas de septoriose précoce et en l'absence de rouille. Un positionnement au T₂, au stade « dernière feuille », en substitution partielle du traitement conventionnel, apparaît à ce jour fragile.

Une action fongicide multisite

D'année en année, la résistance aux fongicides en général devient plus préoccupante. *Zytopseoria tritici*, le champignon responsable de la septoriose, a ainsi développé des résistances totales aux benzimidazoles, aux QoI⁽¹⁾, et continue de développer des résistances aux IDM⁽²⁾ et aux SDHI⁽³⁾.

Actuellement, seuls les fongicides multisites, c'est-à-dire qui s'attaquent selon plusieurs

sites d'action à un champignon, ne sont pas concernés par la résistance. Le soufre, qui agit par contact ou par effet vapeur, a été classé comme fongicide multisite par le FRAC, mais son mode d'action est encore plus large. Il agit directement sur le champignon par blocage de la germination des spores selon plusieurs mécanismes, d'où son caractère multisite ; mais il agit aussi à la marge et de manière indirecte en stimulant les défenses de la plante. Sur le blé, en conditions contrôlées, des apports de soufre via une solution nutritive ont démontré la capacité de cet élément à réduire les attaques de septoriose, attestant d'une interaction entre santé et nutrition.

En outre, aucune résistance des champignons au soufre n'a été identifiée à ce jour. Cependant on ignore encore précisément sa contribution potentielle à la gestion du risque de développement de la résistance. Constituant un mode d'action alternatif, et qui plus est, non susceptible d'être affecté par des résistances, sa contribution est par nature positive. En pratique on souhaiterait qu'il puisse ralentir la progression de la résistance aux fongicides unisites auxquels il pourrait être associé. Il

semble que ce ne soit pas le cas, mais cette question fait toujours l'objet de travaux dans le cadre du réseau Performance.

Un usage aussi en fertilisation

Avec la révolution industrielle aux 19^e et 20^e siècles, les retombées du soufre dégagé dans l'air (à l'origine des pluies acides) approvisionnaient suffisamment les sols pour les besoins des cultures. Cependant, les émissions industrielles de soufre dans l'atmosphère ont été réduites dans le but de lutter contre la pollution, et des carences en soufre ont pu être observées ces dernières années. Rappelons que ce minéral est un élément très abondant naturellement. Il est constitutif de nombreuses protéines végétales, et entre dans la composition de trois acides aminés essentiels. S'agissant du blé par exemple, le soufre est à l'origine des ponts disulfures entre acides aminés soufrés ; ils permettent aux protéines de gluten de s'organiser en réseau au cours du pétrissage, lequel réseau est responsable de la ténacité et de la force boulangère des farines. ■

(1) **QoI** : famille de fongicides inhibiteurs du complexe mitochondrial III (face externe du cytochrome b). Ils inhibent la chaîne respiratoire des champignons. Ex : les strobilurines.
IDM : famille de fongicides inhibiteurs de la déméthylation des stéroïdes, impliqués dans la croissance des champignons. Ex : les triazoles.
SDHI : famille de fongicides inhibiteurs de la succinate déshydrogénase, une enzyme de la respiration cellulaire. Ex : les carboxines.

AUX ORIGINES DU SOUFRE

On pense généralement que le soufre est issu d'une exploitation de mine de soufre à l'état natif, mais ce type d'exploitation est devenu marginal à l'échelle mondiale. Au Kawah Ijen en Indonésie, par exemple, l'extraction était (est encore ?) réalisée dans des conditions abominables par des mineurs découpant des blocs de soufre natif au fond du cratère d'un volcan au milieu des gaz toxiques. L'essentiel de la production de soufre est désormais issu de l'industrie pétrochimique. Le gaz naturel et le pétrole brut sont, en effet, riches (parfois très) en soufre. En France, celui-ci était jusqu'à un passé récent extrait du gaz de Lacq (riche en sulfure d'hydrogène) et du raffinage du pétrole. Le soufre utilisé en agriculture peut aussi provenir d'une décomposition biologique de matières organiques qui en contiennent. C'est le cas du soufre Whisper, autorisé sur la vigne et distribué par la société De Sangosse, extrait d'un biogaz riche en hydrogène sulfureux et non d'un gaz fossile comme le gaz de Lacq.