

Etat des lieux sur les fondements scientifiques et les résultats de la fertilisation foliaire des macro-éléments

Maeva Goursolle (Université de Bordeaux), Marie Esmiller, Aurélie Fernandez, Amandine Guimard
et Lionel Jordan-Meille (Bordeaux Sciences Agro)

Introduction

La fertilisation foliaire consiste à appliquer les minéraux solubilisés nécessaires à la plante directement sur les feuilles, avec l'aide d'adjuvants. Cette technique s'est développée dans les années 1950, ne concernant surtout que des applications d'oligo-éléments sur des cultures pérennes (cultures fruitières) ou maraîchères suite à des diagnostics visuels de carences caractérisées, telles que les carences en Fer sur les sols calcaires. Depuis les années 2000, la commercialisation de ces produits touche les grandes cultures et s'étend désormais aux éléments majeurs. Nous avons voulu vérifier, par une revue bibliographique, la pertinence de cette technique d'un point de vue physiologique et cultural.

Les raisons évoquées (pas que scientifiques) qui justifient l'utilisation d'engrais foliaires

Les hypothèses formulées sur les avantages *a priori* de la fertilisation foliaire sont d'ordre :

- environnemental : limitation des pertes dans les eaux de P et N ;
- physiologique : meilleure efficacité de prélèvement et d'utilisation ;
- agronomique : inefficacité des engrais apportés au sol dans des conditions de sécheresse, levée rapide d'une carence (3-4 jours, Fageria *et al.*, 2009) ;
- technique : possibilité d'application avec des traitements phytosanitaires
- économique : augmentation du taux de protéines sur céréales avec l'azote, augmentation des rendements, meilleure conservation des fruits (Chapagain et Wiesman 2004).

Les mécanismes de l'absorption foliaire à l'échelle cellulaire et de la feuille

L'absorption des minéraux se fait à partir de formes moléculaires complexes (par exemple chélates) ou ioniques (cations et anions). Les propriétés physico chimiques des solutés qui contrôlent leur pénétration sont leur affinité pour la phase aqueuse ou lipidique et leur taille (Fernandez et Eichert 2009). La voie la plus logique de pénétration serait celle de la diffusion passive à travers la cuticule (Marschner 2012). Mais les capacités de diffusion théoriques à travers la cuticule ne peuvent expliquer, à elles seules, les flux de pénétration parfois observés. On en déduit qu'il existe d'autres formes de pénétration, en phase aqueuse, le long de films d'eau adsorbés par exemple sur les cellules de garde des feuilles (Schöner 2006). Ainsi, les stomates joueraient indirectement un rôle important pour la pénétration des minéraux dans les feuilles, mais en aucun cas il ne s'agit de flux de masse. La contribution à la pénétration stomatale fait encore débat.

Méthodes expérimentales employées

Les recherches entreprises sur la fertilisation foliaire se décomposent en trois catégories :

- i) la détermination des voies d'entrée foliaires des minéraux, qui utilisent des marqueurs tels que la fluorescéine pour la mise en évidence de la voie hydrophile (Fernandez et Eichert 2009).
- ii) l'allocation des minéraux absorbés par les feuilles, au moyen de radio-isotopes (^{32}P , McBeath *et al.* 2011) ou d'analogues chimiques (Rb^+ pour le traçage du K^+ , Benlloch-González *et al.* 2012).
- iii) la détermination de l'efficacité de la technique globale, souvent sur blé, maïs, soja, coton, arboriculture. Les facteurs étudiés dans cette catégorie d'expérimentations sont l'élément (essentiellement N, P, encore plus rarement K ou Mg, seuls ou combinés), la dose totale (qui se décompose en nombre d'application et doses unitaires souvent inférieures à 5 kg P/ha et 20 kg N/ha), les stades d'application, les formes d'application (chélates vs ions), la présence ou non de

fertilisation au sol (Mosali *et al.* 2006, Ling et Silberbush 2002). Les facteurs mesurés concernent les composantes du rendement, les teneurs en protéines, ainsi que les teneurs en minéraux dans les parties récoltées, ce qui permet le calcul de l'efficacité de l'utilisation des éléments pulvérisés. La pulvérisation est très souvent réalisée par un simple pulvérisateur manuel. La présence de bâches empêchant la contamination du sol par les gouttelettes est ponctuelle.

Synthèses de résultats d'essai : forte hétérogénéité de réponses des plantes

Les résultats concernant l'efficacité de la pulvérisation foliaire sont extrêmement variables. Si de rares études évoquent des pertes de rendement ou de taux de protéines par rapport à des témoins fertilisés au sol (ARVALIS 2013, Girma *et al.* 2007), la plupart des études concluent à des effets très variablement positifs. Par exemple, l'efficacité d'utilisation du P peut varier d'un facteur 15 selon les modalités d'application (valeurs relevées de 3 à 47 % en moyenne pour Mosali *et al.* 2006 sur du blé ou Girma *et al.* 2007 sur maïs). A l'opposé, des cas révèlent de très bonnes efficacités, comme McBeath *et al.* 2011 qui montrent une hausse de rendement de 25% sur du blé avec seulement 5 kg de P pulvérisés. Dans ce cas, les pulvérisations sont réalisées rigoureusement, dans des conditions impossibles à réaliser au champ. L'hypothèse d'une telle efficacité est que le P aurait contribué à allonger la durée de vie des feuilles, permettant ainsi une meilleure assimilation du carbone (Benbella et Paulsen 1998).

La très forte amplitude des résultats s'explique par le fait que l'efficacité des pulvérisations interfère avec l'architecture du feuillage et la morphologie des feuilles, qui sont sous la dépendance de facteurs biotiques (âge des plantes, ressources en eau, lumière, minéraux) et des pratiques culturales.

Limites et perspectives de la technique, à l'échelle du peuplement : Spray and Pray

Une faible indice foliaire ne permet pas de valoriser la technique de la pulvérisation foliaire. Par exemple, sur blé, l'indice foliaire optimum pour une bonne valorisation de la technique est de 2 à 4 (Fageria *et al.* 2009). Ceci exclut donc l'utilisation d'éléments dont les plantes ont des besoins précoces pour leur croissance, comme le P.

Une autre limite importante concerne les risques de brûlure (salinité trop élevée). Pour cette raison, les concentrations des pulvérisats en éléments majeurs restent faibles ; ceci relègue donc la technique de la pulvérisation foliaire des éléments majeurs à une pratique de correction ponctuelle, qui ne peut être qu'un complément à une fertilisation classique.

Enfin, seules des conditions climatiques contraignantes permettent de bien valoriser la technique, ce qui la rend aléatoire dans des conditions de plein champ (Khiari *et al.* 2011).

A l'avenir, il serait primordial de mieux caractériser les conditions environnementales des essais, d'aborder les questions de rentabilité économique pour l'agriculteur.

Références bibliographiques

- Arvalis Cetiom Info, Janvier 2013
- Benbella et Paulsen 1998 *Agronomy Journal*, 90, 332-338
- Benloch-Gonzalez *et al.* 2012 *Scientia Horticulturae*, 146, 153-158
- Chapagain et Wiesman 2004 *Scientia Horticulturae*, 102, 177-188
- Fageria *et al.* 2009 *Journal of Plant Nutrition*, 3, 1044-1064
- Fernandez et Eicher 2009 *Critical Reviews in Plant Science*, 28, 36-68
- Girma *et al.* 2007 *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 38, 1137-1154
- Khiari *et al.* 2011 2nd Simp. Internacional e Nutrición Vegetal. León, Guanajuato, México.
- Ling et Silberbush 2002 *Journal of Plant Nutrition*, 25, 11, 2333-2342
- Marschner 2012 *Mineral nutrition of higher plants. Third Edition Academic Press.*
- McBeath *et al.* 2011 *Crop&Pasture Science*, 62, 58-65
- Mosali *et al.* 2006 *Journal of Plant Nutrition*, 29, 2147-2163
- Schönherr 2006 *Journal of Experimental Botany*, 57, 11, pp 2471-2491.