

PRÉLEVEMENT DU FER DANS LE SOL PAR LES GRAMINÉES ET LES NON GRAMINÉES

par Jean-François Briat¹

Les plantes occupent un espace essentiel dans la chaîne alimentaire puisqu'elles sont à la base de l'acquisition des minéraux du sol et de l'assimilation du carbone et de l'azote, fournissant ainsi des éléments essentiels à la diète animale et humaine. Dans ce contexte, le fer est concerné à deux titres. En tant qu'élément métallique indispensable, l'acquisition du fer du sol par les plantes permet son entrée dans la biosphère. D'autre part, les réactions impliquées dans l'assimilation du carbone et de l'azote minéral se déroulent dans des organites sub-cellulaires spécifiquement végétaux, les plastes, et impliquent un nombre important de protéines contenant du fer sous forme d'hème ou de centre Fe-S.

Les plantes peuvent être sub-divisées en graminées (céréales telles que le riz, le blé, le maïs...) et en non-graminées (légumes tels que le pois, la tomate, les salades...). Ces deux groupes n'utilisent pas les mêmes moyens pour acquérir le fer du sol en réponse à des conditions de manque. Chez *Arabidopsis*, plante modèle non-graminée dont le génome a récemment été entièrement séquencé, une carence en fer induit la synthèse d'une réductase des chélats ferriques [1], conduisant à la production de Fe(II) qui est transporté à l'intérieur de la racine par un transporteur localisé sur la membrane plasmique. Nous avons démontré que le gène *IRT1* code le système de transport de fer principal chez *Arabidopsis*, et qu'il est essentiel à la croissance et au développement de la plante [2]. Nous avons également caractérisé le gène *IRT2*, codant un transporteur de fer très similaire à *IRT1*, et également exprimé au niveau des cellules de l'épiderme des racines [3]. Toutefois *IRT2* ne peut pas se substituer à *IRT1* et son rôle dans la plante n'est pas redondant avec celui d'*IRT1*, vraisemblablement en raison d'une fonction dans le transport intracellulaire du fer. Chez le Maïs, qui est une graminée, une carence en fer provoque la sécrétion par les racines d'acide déoxymuginéique (DMA), synthétisé à partir de la nicotianamine (NA), un précurseur très proche structuralement du DMA et synthétisé chez toutes les plantes à partir de la méthionine [4]. Le DMA fixe fortement le Fe(III) du sol et le complexe en résultant est transporté à l'intérieur des racines par un transporteur. Le mutant *ys1* de Maïs porte une mutation récessive monogénique sur le chromosome 5, et est déficient dans le transport du complexe Fe(III)-DMA, malgré une production et une sécrétion de DMA normales. En collaboration avec le Pr Walker (Massachusetts University), nous avons récemment cloné le gène *YS1* de Maïs. Son expression dans le mutant *fet3fet4* de levure qui est déficient dans le transport du fer à basse et haute affinité, ou dans des ovocytes de Xénope, a permis de démontrer qu'il code effectivement un transporteur de Fe(III)-DMA [5, 6]. Un résultat inattendu de ce travail provient de la mise en évidence dans les bases de données de 8 gènes d'*Arabidopsis* homologues à *YS1*, dénommés *YSL 1-8*. Cette observation est intrigante du fait qu'*Arabidopsis* ne produit pas de DMA, bien qu'il contienne son précurseur NA. La caractérisation de cette nouvelle famille de gène chez une plante non graminée est un enjeu important pour l'avenir afin de mieux comprendre les mécanismes contrôlant la répartition du fer entre les différents organes et types cellulaires d'une plante.

Une fois entré dans la racine, le fer est acheminé vers les parties aériennes sous forme de Fe(III)-citrate par la sève ascendante circulant dans les tissus vasculaires du xylème. A un niveau moléculaire, les transporteurs responsables de la charge et de la décharge en fer du xylème n'ont pas

¹ Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes. CNRS / INRA / ENSA-M / UM2. Place Viala. F-34060 Montpellier cedex 1 (France). E-mail : briat@ensam.inra.fr

encore été identifiés. Une fois délivré dans les cellules du mésophylle foliaire, où se trouve les chloroplastes impliqués dans l'assimilation du carbone, le fer est distribué dans les organites de ces cellules par des mécanismes encore non élucidés au plan moléculaire. Il a toutefois été montré que l'entrée de fer dans les chloroplastes impliquait un uniport de Fe(II) [7].

En conclusion, notre connaissance des déterminants cellulaires et moléculaires responsables de l'acquisition du fer du sol par les plantes a fait d'importants progrès ces dernières années. Par contre notre compréhension du transport longue distance du fer dans la plante, et de sa distribution intracellulaire dans différents organites est encore très fragmentaire, tout comme la connaissance des mécanismes de signalisation qui intègrent l'ensemble de ces activités de transport au niveau de la plante entière.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Robinson N.J., Procter C.M., Connolly E.L., Guerinot M.L., 1999. – A ferric-chelate reductase for iron uptake from soils. *Nature* **397**, 694-697.
- (2) Vert G., Grotz N., Dedaldechamp F., Gaymard F., Guerinot M.L., Briat J.F., Curie, C., 2002. – IRT1, an *Arabidopsis* Transporter Essential for Iron Uptake from the Soil and for Plant Growth. *Plant Cell* **14**, 1223-1233.
- (3) Vert G., Briat J.F., Curie C., 2001. – *Arabidopsis* IRT2 gene encodes a root-periphery iron transporter. *Plant J.* **26**, 181-189.
- (4) von Wiren N., Klair S., Bansal S. Briat J.F., Khodr H., Shiori T., Leigh R.A., Hider R.C., 1999. –Nicotianamine chelates both FeIII and FeII. Implications for metal transport in plants. *Plant Physiol.* **119**, 1107-1114.
- (5) Curie C., Panaviene Z., Loulergue C., Dellaporta S.L., Briat J.F., Walker E.L., 2001. – Maize yellow stripe1 encodes a membrane protein directly involved in Fe (III) uptake. *Nature* **409**, 346-349.
- (6) Schaaf G., Ludewig U., Erenoglu B.E., Mori S., Kitahara T., von Wiren N., 2004. – ZmYS1 functions as a proton-coupled symporter for phyto siderophore- and nicotianamine-chelated metals. *J Biol Chem* **279**, 9091-9096.
- (7) Shingles R., North M., McCarty R.E., 2002. – Ferrous ion transport across chloroplast inner envelope membranes. *Plant Physiol.* **128**, 1022-1030.

(Reçu le 26 octobre 2004)