

Interface Physique/Chimie pour le Vivant (IPCV) Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan (CENBG) CNRS - Université Bordeaux 1 - UMR 5797

1. Analyse par faisceaux d'ions : plateforme AIFIRA (Applications Interdisciplinaires des Faisceaux d'Ions en Région Aquitaine)

- Imagerie quantitative de la distribution des éléments chimiques par :
- PIXE (Particle Induced X-ray Emission),
 - RBS (Rutherford Backscattering Spectrometry)
 - STIM (Scanning Transmission Ion Microscopy)



Accélérateur électrostatique de particules (H⁺, D⁺, He⁺) de 3,5 MV

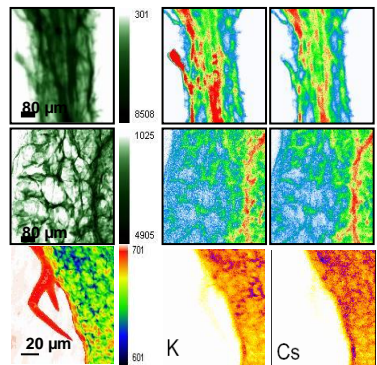


Ligne de microanalyse permettant de focaliser le faisceau entre 0,2 et 1 µm

2. Exemples d'applications

STIM

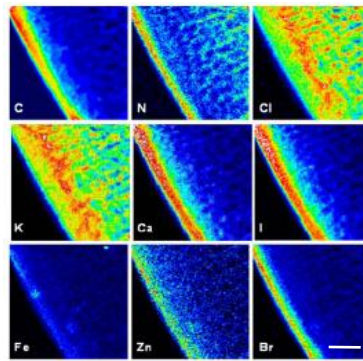
PIXE



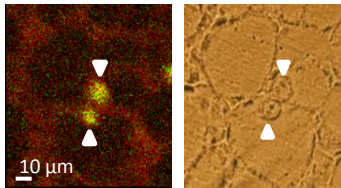
Distribution de Cs et K dans les plantules d'*Arabidopsis thaliana* (en haut : tige; au centre: feuille; en bas : trichome).

Mécanismes de phytotoxicité du Cs.
L'imagerie micro-chimique suggère que la phytotoxicité du césium est due à la compétition de fixation avec les sites normalement occupés par le potassium. De plus, le caractère multi-élémentaire et quantitatif des analyses PIXE montre que le césium modifie les distributions quantitatives des éléments traces essentiels, tels que le manganèse, le fer et le zinc, altération qui pourrait participer au processus de phytotoxicité. Enfin, l'imagerie des distributions chimiques au niveau des trichomes, fines excroissances de la plante constituées d'une cellule unique, indique que le trichome ne concentre pas le césium chez *Arabidopsis thaliana*, contrairement à ce qui est observé pour d'autres éléments toxiques (cadmium), ou essentiels (fer, zinc) (Isaure et al., 2006).

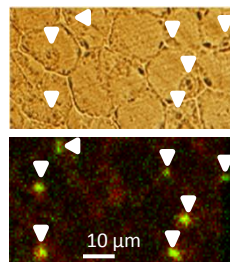
Cycle biogéochimique de l'iode.
L'algue brune *Laminaria digitata* présente les capacités d'accumulation d'iode les plus fortes connues. L'étude du transfert de l'iode chez cette algue a permis de déterminer de nouveaux mécanismes par lesquels cet élément est transporté et métabolisé au sein de l'algue. A terme, ces études devraient permettre de comprendre le rôle de ces enzymes dans le maintien de l'homéostasie de l'iode et l'halogénéation de composés organiques chez les algues brunes, ainsi que l'importance de ces phénomènes dans la dissémination de l'iode et de ses isotopes dans l'environnement marin et la biosphère. (Verhaeghe et al., 2008).



Distribution des éléments chimiques dans les lames d'algues brunes *Laminaria digitata* (scale bar : 25 µm).



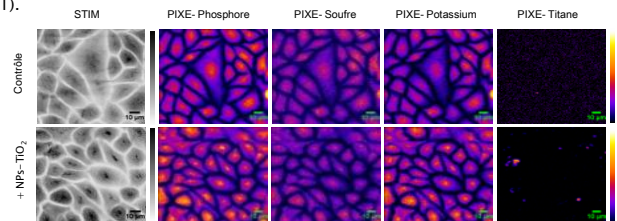
Distribution du Fe (vert) et du K (rouge) obtenues par PIXE sur des coupes d'embryon de pois (*Pisum sativum*) montrant la localisation du fer dans les nucléoles (flèches blanches).



Distribution cellulaire du fer dans les plantes.

L'imagerie PIXE a révélé la localisation du fer en grande quantité dans les nucléoles des cellules embryonnaires de pois (*Pisum sativum*) et d'*Arabidopsis thaliana* dans des conditions normales de culture. Cette distribution inattendue suggère un rôle cellulaire encore inconnu du fer dans les processus nucléaires et nucléolaires des plantes (Roschztardt et al., 2011).

Mécanismes d'internalisation et de toxicité des nanoparticules d'oxyde de titane (NPs-TiO₂) dans des organismes eucaryotes. La combinaison des expertises en biologie moléculaire/cellulaire/chimie, en techniques d'imagerie à haute résolution (microscopie électronique et confocale) et en nano-analyse par faisceau d'ions (STIM, PIXE) offre l'opportunité d'obtenir une description détaillée en fonction des propriétés physico-chimiques des NPs-TiO₂ des mécanismes qui définissent : (i) leur bio-distribution à l'échelle cellulaire et multi-cellulaire, (ii) leurs sites de bio-accumulation, (iii) leur bio-persistence et donc les conséquences biologiques associées (Simon et al., 2011).



Cartographie en densité (STIM) distribution des éléments chimiques intra-cellulaires (P, S, K) obtenues par PIXE au sein de culture de cellules humaines contrôlées ou exposées à des NPs-TiO₂ montrant l'internalisation cellulaire du titane.

Références

- Isaure M.P., Fraysse A., Devès G., Le Lay P., Fayard B., Susini J., Bourguignon J., Ortega R. (2006) Micro-chemical imaging of cesium distribution in Arabidopsis thaliana plant and its interaction with potassium and essential trace elements. *Biochimie* 88, 1583-1590.
- Roschztardt H., Grillet L., Isaure M.P., Conéjero G., Ortega R., Curie C., Mari S. (2011) The plant cell nucleolus as a hot spot for iron. *The Journal of Biological Chemistry*, 286, 27863-27866.
- Simon M., Barberet P., Delville M.-H., Moretto P., Seznec H. (2011) Titanium dioxide nanoparticles induce intracellular calcium homeostasis modification in primary human keratinocytes. Towards an in vitro explanation of titanium dioxide nanoparticles toxicity. *Nanotoxicology*, 5, 125-139
- Verhaeghe E., Fraysse A., Guerquin-Kern J.-L., Wu T.D., Devès G., Mioskowski C., Leblanc C., Ortega R., Ambroise Y., Potin P. (2008) Micro-chemical imaging of iodine distribution in the brown alga *Laminaria digitata* suggests a new mechanism for its accumulation. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 13, 257-269.