



## Projet Si-Blé

L'accumulation de silice dans les épidermes foliaires du blé dur est-elle une adaptation de la plante en réponse à des conditions de stress hydrique ?

### 1. Contexte de la recherche (*maximum une page*)

Un déficit en eau du sol est un problème courant dans les régions arides et semi-arides telles que le pourtour méditerranéen, le Moyen Orient, l'Inde, le Pakistan. Dans nombre de ces régions, le blé dur (*Triticum durum*), de par sa relative tolérance aux déficits hydriques comparés à d'autres céréales, est largement cultivé, ce qui en fait un aliment de base. Cependant, sa croissance peut être fortement réduite lors d'épisodes de sécheresse même brefs [1].

Le silicium est un élément fertilisant important, connu pour augmenter la tolérance des plantes aux stress abiotiques tels que les stress chimiques (salinité, toxicité des métaux, déséquilibre nutritif) et les stress physiques (affaissement, sécheresse, rayonnement, température élevée, gel) [2]. Le silicium se dépose dans les tiges, les feuilles, et les coques de nombreuses plantes (les graminées particulièrement), où il contribue à augmenter la force et la solidité des parois cellulaires, et à diminuer la transpiration au niveau des cuticules [3]. Le silicium augmente aussi l'interception de la lumière en favorisant le maintien vertical des feuilles, stimulant ainsi la photosynthèse [4]. Enfin, il a été observé que le silicium favorise la croissance de certaines graminées [5]. On notera cependant parmi la multitude d'études sur le sujet, que rares sont celles qui ont cherché à localiser les dépôts de silicium dans les plantes en relation avec les facteurs environnementaux [6, 7]. Le rôle du silicium dans l'adaptation des plantes au stress abiotiques n'est donc pas totalement exploré.

Les dépôts de silicium dans les plantes produisent des phytolithes, corps faits de silice amorphe ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) dont la morphologie varie selon les taxons phylogénétiques. Cette morphologie dépend de la forme et de la taille des espaces cellulaires et intracellulaires comblés par les dépôts [8]. Les phytolithes sont bien connus des paléo-écologistes car leur préservation dans les sols et paléosols permet l'interprétation de leurs assemblages en terme de dynamiques végétales [9]. Il a aussi été montré qu'il existe un lien entre les assemblages phytolithiques et le climat. En particulier, deux études mettent en évidence des relations entre phytolithes et aridité pour le moins contradictoires [10, 11]. Bremond et al. [10] ont montré que dans les sols d'Afrique de l'ouest, la proportion des phytolithes issus des cellules bulliformes (cellules qui permettent à la plante d'enrouler ses feuilles pour réduire l'évapotranspiration) augmente le long d'un gradient sud-nord de stress hydrique, lui-même résultant d'une aridité croissante. A contrario, Novello et al. (2012) [11] ont observé que ces mêmes types de phytolithes dans les vases en bordure du lac Tchad, là où pourtant les graminées et cypéracées (aquatiques et hydrophytiques) ne semblent pas soumises à stress hydrique. En effet, ces plantes se développent dans des zones constamment humides voire inondées. Ces deux études suggèrent donc que l'accumulation de silice dans les cellules bulliformes des herbacées graminées est fonction à la fois de la demande climatique (*i.e.* l'évapotranspiration potentielle, ETP) et de la quantité d'eau disponible et accessible par les racines au niveau du sol (*i.e.* la réserve utile, RU).

A notre connaissance, aucune étude à ce jour n'a encore abordé le rôle de l'évapotranspiration potentielle, de la réserve utile, et de l'évapotranspiration réelle (ETR) sur l'accumulation de silice et la production de phytolithes dans les plantes. On peut donc se poser la question de savoir dans quelle mesure l'accumulation de silice dans les épidermes foliaires est-elle une adaptation de la plante en réponse à des conditions de stress hydrique (*i.e.* lorsque  $\text{RU} < \text{ETP}$ ) ?

Nous proposons de répondre à cette question en étudiant des plants de blé dur en solution hydroponique et dans un environnement contrôlé en terme de température, de hygrométrie, et d'apport hydrique et siliceux. Le blé dur est riche en silice, en phytolithes, et a fait l'objet d'une étude au CEREGE [12]. Nous disposons donc déjà de certaines connaissances et des graines pour la mise en

## Appel d'Offre ECCOREV 2013

culture. Cependant, contrairement aux graminées tropicales ayant fait l'objet des études [10] et [11], le blé dur est une plante à cycle en photosynthétique en C3.

Le projet Si-Blé que nous proposons ici se rattache à l'axe de recherche « Vulnérabilités des écosystèmes terrestres et aquatiques » de la FR ECCOREV (Axe 2, responsable André Chanzy).

### Références citées

- [1] Bousba et al. 2009. Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences* 5 :609-616.
- [2] Ma, J. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition* 50 : 11-18.
- [3] Ma & Yamaji, 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *TRENDS in Plant Science* 11 (8).
- [4] Ma & Takahashi, 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan, Elsevier science.
- [5] Hossain et al. 2002. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. *Journal of Plant Research* 115 : 23-25
- [6] Wynn Parry & Smithson, 1964. Types of opaline silica depositions in the leaves of British grasses. *Annals of Botany* 28: 169-185
- [7] Sangster & Wynn Parry, 1969. Some factors in relation to bulliform cell silicification in the grass leaf. *Annals of Botany* 33, 315-323
- [8] synthèse par Piperno, 2006. Phytoliths : A comprehensive guide for archaeologists and palaeoecologists. Rowan and Littlefield.
- [9] Alexandre et al., 1997. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 136, 213-229.
- [10] Bremond et al., 2005. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. *Global and Planetary Change* 45, 277-293.
- [11] Novello et al., 2012. Phytolith signal of aquatic plants and soils in Chad, Central Africa. *Review of Palaeobotany and Palynology* 178 (2012) 43-58.
- [12] Riswan, 2012. Silicon-mediated heavy-metal tolerance in durum wheat : evidences of combined effects at the plant and soil levels. PhD Thesis, University of Aix-Marseille.

## 2. Objectifs de la demande (maximum une page, incluant la description de la suite prévue pour le projet)

Les objectifs de ce projet sont les suivants :

- a) monter un plan d'expérimentation pour étudier, à l'échelle d'une seule espèce, le blé dur (*Triticum durum*), les effets du stress hydrique sur l'accumulation et la forme des dépôts de silice (phytolithes) dans les cuticules,
- b) localiser et quantifier les dépôts de silice dans les différentes parties de la plante (feuilles, tiges, racines) et au sein même de l'épiderme (cellules courtes, cellules longues, cellules bulliformes, poils) ;
- c) analyser les relations entre le stress hydro-climatique, les concentrations de silice dans les plantes et les assemblages phytolithiques.

La suite de cette étude fera l'objet d'un projet à soumettre à l'INSU E2CO, dans lequel l'étude de plantes à cycle photosynthétique en C4 (NAD-me, NAPD-me, ou PKD) encore plus résistantes à l'aridité que les plantes en C3 sera proposé. De plus, l'accent sera mis sur la mise en place de collaborations avec des collègues algériens, notamment de l'Université Mentouri à Constantine, pour appliquer cette même approche « en champs ».

### 3. Réalisations prévues, plan financier succinct (une à deux pages), description courte du mode d'interaction prévu entre les équipes

Les graines seront mises à germées en incubateur et les plants seront ensuite transférés dans des pots en plastiques. Les plants seront cultivés en solution hydroponique à deux niveaux de silicium, sous deux conditions de stress hydriques (simulées avec du polyethylene glycol PEG600) et sous deux conditions hydrométriques contrastées (air statique ou air ventilé sec). Pour chaque traitement, trois plants de blé seront analysés.

Les plants de blé dur seront cultivés dans la chambre de culture du CEREGE, avec des cycles jour/nuit adaptés à la période de croissance.

Les niveaux contrastés d'hygrométrie seront obtenus par le biais d'une ventilation asséchant l'air. L'hygrométrie sera suivie par sonde.

Les mesures de potentiel hydrique (**R HUC**) seront effectuées in-situ dans une chambre à pression (dite de Scholander). On mesurera le potentiel de base (Pb) qui représente la valeur de potentiel la plus haute de la journée (proche de zéro), et le potentiel minimum (Pm), qui représente la valeur de potentiel (tension de sève brute) la plus basse de la journée donc la plus négative. Une différence de transpiration (fonctionnement stomatique) pourrait se traduire par une différence sur une des deux valeurs. Les feuilles prélevées pour les mesures de potentiel hydrique seront utilisées pour mesurer les valeurs de masse surfacique.

La silice contenue dans les plantes sera quantifiée (**J-D MEUNIER**) et les assemblages de phytolithes seront analysés (après digestion acide) pour obtenir les proportions relatives des phytolithes provenant des différents types de cellules accumulant la silice. La morphologie des phytolithes sera décrite (forme, taille) au microscope optique (**D BARBONI**).

Les épidermes pourront également faire l'objet d'observation au MEB-cryogénique (**J-D MEUNIER, D BARBONI**).

#### Plan financier :

Expériences d'hydroponie: petit matériel et consommables (flacons, tubes, cartouches eau MilliQ, HNO<sub>3</sub> suprapur, solution nutritive): 4000 euros

Extraction des phytolithes : 50 X 20 euros= 1000 euros

Analyses des phytolithes au MEB-cryo (1j à 350€/j) : 350 euros

Cartouche azote B20 pour chambre à pression : 100 euros

Mission R.HUC pour mesures de potentiel hydrique : 250 euros

**Total : 5700 euros**

#### 4. Description du consortium

Participants	% temps	Intitulé de l'unité	Etablissement de rattachement	Equipes d'appartenance
D Barboni (CR CNRS)	20%	CEREGE (Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement) (UM34)	AMU, CNRS, IRD, Coll. de France	Bio-indicateurs et Traceurs
J-D Meunier (DR CNRS)	20%			SE3D (Sol, Eau, Déchets, Biogéochimie et Développement Durable)
R. Huc (CR INRA)	5%	URFM Ecologie des Forêts Méditerranéennes (UR 629)	INRA	Ecologie Fonctionnelle

#### 5. Court CV du porteur de chaque équipe incluant la liste de trois publications les plus pertinentes pour le projet. Si vous avez déjà bénéficié d'un financement ECCOREV pour un projet antérieur, ajouter la liste à jour des publications, colloques, opérations de vulgarisation effectuées à la suite de ce projet. Fournir un pdf des publications.

##### **BARBONI Doris (porteur du projet)**

Age: 39 ; PhD Thesis, University of Aix-Marseille, 2000.

Since 2003: Chargée de Recherche CNRS at CEREGE, Aix-en-Provence

From Jan 2001 to Dec 2002: post-doctorate research scientist at the Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, (MPI-BGC, Germany).

Other activities : referee for International Scientific Organizations (NERC-UK, NSF-USA). Reviewer for American Journal of Physical Anthropology, Annals of Botany, Catena, Climate Dynamics, Geobios, Geological Society of India- Bangalore, Global Change Biology, Journal of Arid Environments, Journal of Biogeography, Journal of Vegetation Science, Palaeogeography-Palaeoclimatology-Palaeoecology, Paleobiodiversity and Paleoenvironments, Paleoword, Quaternaire, Quaternary International, Quaternary Research, Review of Paleobotany and Palynology, The Holocene. Member of the editorial board of ISRN Paleontology. International collaborations with USA, Spain, Tanzania, India.

##### *3 significant publications on the subject (total number = 21)*

- Keller C., Guntzer F., **Barboni D.**, Labreuche J., Meunier JD., 2012. Impact of agriculture on the Si biogeochemical cycle: Input from phytolith studies. *Comptes Rendus Geoscience* 344: 739-746.
- Novello A., **Barboni D.**, Berti-Equille L., Mazur J-C., Poilecot P., Vignaud P., 2012. Phytolith signal of aquatic plants and soils in Chad, Central Africa. *Rev Palaeobot Palynol* 178: 43-58.
- **Barboni D.**, Bremond L., 2009. Phytoliths of East African grasses: an assessment of their environmental and taxonomic significance based on floristic data. *Rev Palaeobot Palynol*, 158: 29-41.

**MEUNIER Jean-Dominique**

Age: 53 ; State Thesis, University of Nancy I, 1989.

Present: Directeur de Recherche (Senior Researcher) CNRS at CEREGE, Aix-en-Provence

From 1985 to 1990: Chargé de Recherche CNRS at CREGU, Nancy 1990: visiting scientist at USGS, Denver, USA.

Other activities: Editor of two books, former assistant director of CEREGE (2000-2001) Referee for International Journals ; Referee for International Scientific Organizations ; Member of scientific committees of French Programs ; Members of University Committee ; International collaboration with : U.S.A., Brazil, Cameroun, Gongo Rep., Morocco, Australia, India, Denmark, more than 600 hours of teaching in Aix-Marseille University since 1993.

*5 significant publications on the subject (total number = 58)*

- Basile-Doelsch I, **Meunier J.D.** and Parron C., 2005, Another continental pool in the terrestrial silicon cycle. *Nature*, 433, 399-402.
- Fraysse F., Pokrovsky O.S, and **Meunier J.D.**, 2010, Experimental study of terrestrial plant litter interaction with aqueous solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 70-84.
- **Meunier J.D.**, Kirman S., Strasberg D., and Keller C., 2010, The output and biocycling of Si in a tropical rain forest developed on young basalt flows (La Reunion Island). *Geoderma* 159, 431-439.
- Guntzer F., Keller C., **Meunier J.D.**, 2012. Benefits of plant silicon for crops : a review. *Agronomy for a Sustainable Development* 32, 201-213.
- Collin B., Doelsch E., Keller C., Panfili F., **Meunier J.D.**, 2012. Distribution and variability of silicon, copper and zinc indifferent bamboo species. *Plant and Soil* 351, 377-387.

**HUC Roland**

Age: 61; Thesis of Specialty, Montpellier University, 1977

Since 1992: Research Scientist, Ecology of Mediterranean Forests Unit, UR 629, INRA, Avignon, Forests Grasslands and Freshwater Ecology Division.

Activities: I conduct researches on tree ecophysiology, mainly on water transfer (xylem conductivity, sap flow, etc.) and on resistance to water stress (embolism and xylem vulnerability). My current work focuses on mixed ecosystems with Aleppo pine trees and holm oak, based on species responses to environmental conditions, in instrumented forest sites, using, in particular, eddy correlation measurements. Principal Investigator (PI) of the experimental site of Font-Blanche, Bouches du Rhône (Research infrastructure of ECCOREV, Soere F-ORE-T and ICOS - Ecosystem).

Other professional experiences: coordinator of the URFM team on "Ecologie Fonctionnelle et Dynamique des Communautés" (until Dec 2012). From 1988 to 1992: director of the Forest Research Unit, Agricultural research Center for French West Indies and French Guyana (CRAAG), INRA , Kourou, French Guyana; Ecophysiology of wet tropical forest trees : assimilation rate, stem water transfer. In charge of the tropical forest Research program of the Forest Department, INRA.

*Most relevant publications for the proposal*

- Nourtier M., Chanzy A., Cailleret M., Yingge X., **Huc R.**, Davi H., 2012. Transpiration of silver Fir (*Abies alba* mill.) during and after drought in relation to soil properties in a Mediterranean mountain area, *Annals of Forest Science* 68: 1255-1264

## Appel d'Offre ECCOREV 2013

- Ducrey, M., **Huc R.**, Ladjal M. and Guehl J.-M. 2008. Variability in growth, carbon isotope composition, leaf gas exchange and hydraulic traits in the eastern Mediterranean cedars *Cedrus libani* and *C. brevifolia*. *Tree Physiology* 28:689-701.
- Bréda N., **Huc R.**, Granier A. and Dreyer E. 2006 - Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation process and long-term consequences. *Annals of Forest Science* 63: 625-644.

Projet financé par ECCOREV (AOI 2009, restitution 14/10/2011) : Bilan de Carbone de l'écosystème pin-chêne par une modélisation 3D et effets de la disponibilité en eau. Participants INRA-URFM : R. Huc, G. Simioni, Cemagref : M. Vennetier, F. Girard, IMEP-CNRS : F. Guibal, C. Corona.

### *Articles publiés :*

- Simioni G., **Huc R.**, 2012. Asymmetric competition increases leaf inclination effect on light absorption in mixed canopies. *Annals of Forest Science* (Accepté)

### *Présentation orale :*

- Simioni G., **Huc R.** Transpiration patterns of two coexisting tree species submitted to partial rainfall exclusion Colloque MedPine4, 4ème conférence internationale sur les pins méditerranéens, Avignon 6-10 juin 2011.

### *Présentation orale suivie de publication pour large public :*

- Simioni G., **Huc R.** Le site d'étude à long terme de Fontblanche, 2011, Forêt méditerranéenne, Numéro spécial : Observer et s'adapter aux changements climatiques en forêt méditerranéenne XXXII, 2, 133-134.
- **Huc R.** Les réponses des arbres aux contraintes climatiques : aspects écophysologiques, 2011, Forêt Méditerranéenne, Numéro spécial : Observer et s'adapter aux changements climatiques en forêt méditerranéenne, XXXII, 2, 167-172.