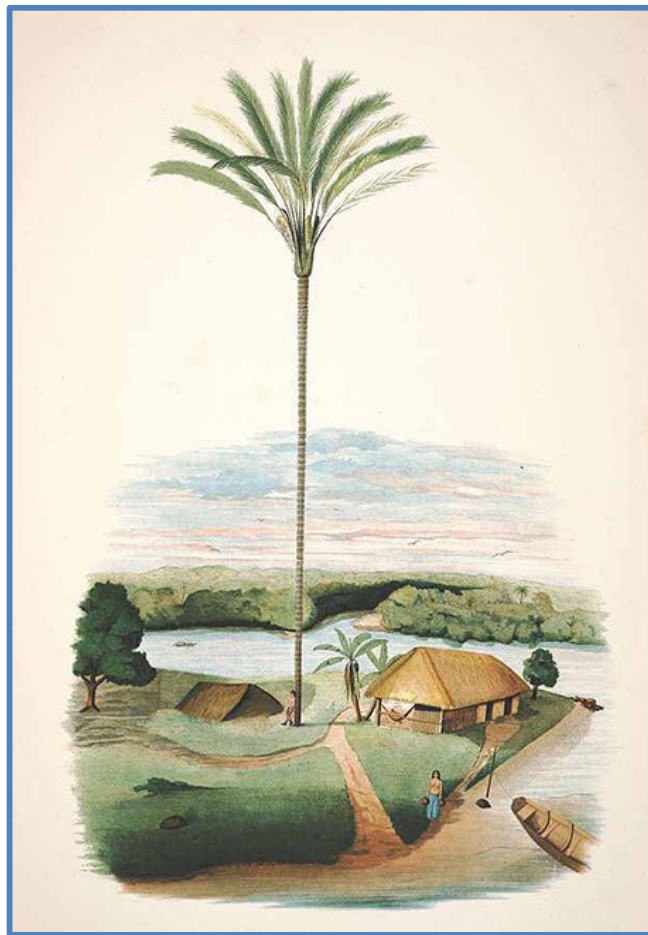
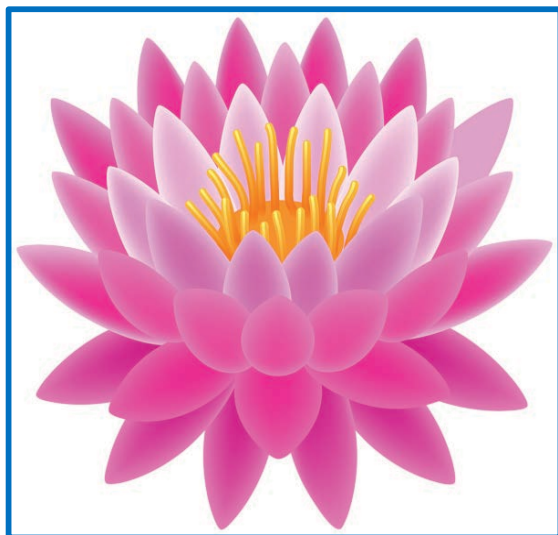




Séance de l'Académie d'agriculture de France

Les secrets de la longévité des graines

Mercredi 18 mars 2020 de 14h15 à 17h

Salle Amédée Behague de l'Académie d'agriculture de France
18, rue de Bellechasse, 75007 Paris

Contact : Académie d'agriculture de France

Téléphone : 01 47 05 10 37 - Courriel : contact@academie-agriculture.fr

Photos de couverture : Les graines peuvent être viables pendant des centaines, voire des milliers d'années.

En haut à gauche : graines de lotus sacré (*Nelumbo nucifera*), enchâssées dans leur réceptacle floral, ayant démontré avoir conservé leur vigueur germinative après environ 1300 ans d'enfouissement dans le sol (Chine) (Shen-Miller. 2002. Sacred lotus, the long-living fruits of China Antique. Seed Science Research 12, 131-143). Pour la survie à long terme, les graines de cette plante aquatique sont capables d'activer les gènes qui produisent des protéines pour se réparer et résister dans des environnements extrêmes. Il s'agit d'une étape majeure dans l'apprentissage des secrets antiviellissement que peut offrir le lotus sacré.

En bas à gauche : fleur de lotus sacré. Cette plante est vénérée comme symbole de pureté spirituelle et de longévité. Ses fleurs ont la propriété d'être thermorégulatrices. Elles peuvent générer de la chaleur afin de maintenir une température oscillant entre 30 °C et 36 °C pendant la période de pollinisation. Il s'agirait peut-être d'un mécanisme pour attirer les insectes pollinisateurs.

Panneau de droite : la plus ancienne graine datée au carbone 14 capable de générer une plante viable après germination est une graine de palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) de Judée, vieille d'environ 2000 ans et récupérée en 2005 lors de fouilles au palais d'Hérode le Grand à Massada en Israël (Sallon et al. 2008. Germination, genetics, and growth of an ancient date seed. Science 320, 1464-1464). Les faibles précipitations et la forte chaleur qui règnent à Massada pendant l'été ont pu contribuer à cette exceptionnelle longévité, en minimisant la production de radicaux libres, l'une des principales causes du vieillissement des graines. La plante issue de cette germination a été surnommée « Mathusalem », en référence au personnage de la Bible qui aurait vécu 969 ans. Le palmier Mathusalem est remarquable car il est l'unique représentant vivant du dattier de Judée, variété éteinte depuis plus de 800 ans, qui était dans l'ancienne Judée une importante plante alimentaire cultivée et également exportée.

Organisation de la séance

Françoise Corbineau, professeur à Sorbonne Université, membre de l'Académie d'agriculture de France

Dominique Job, directeur de recherche émérite au CNRS, membre de l'Académie d'agriculture de France

Programme

14h15 Ouverture de la séance et mots de bienvenue

Nadine Vivier, professeur émérite d'histoire contemporaine à l'université du Maine, présidente de l'Académie d'agriculture de France

14h25 Introduction

Dominique Job, biologiste végétal, directeur de recherche émérite au CNRS, membre de l'Académie d'agriculture de France

14h40 Etat vitreux des graines et survie à l'état sec

Olivier Leprince, biologiste végétal, spécialiste en anhydrobiose pour la conservation des graines à l'état sec, professeur de physiologie végétale à Agrocampus Ouest

15h05 Contrôle métabolique de la longévité des graines

Loïc Rajjou, biologiste végétal, spécialiste de la biologie des graines, professeur à AgroParisTech

15h30 Graines, vieillissement et dormances

Christophe Bailly, biologiste végétal, spécialiste de la biologie des graines, professeur à Sorbonne Université (Paris)

15h55 Mécanismes moléculaires de la survie à l'état sec des graines

Julia Buitink, biologiste végétal, spécialiste en biologie des graines, avec un intérêt particulier pour les approches de biologie des systèmes pour comprendre la survie des graines à l'état sec, directrice de recherche à l'INRA (Angers)

16h20 Discussion générale

16h50 Conclusion

Françoise Corbineau, professeur des universités, membre de l'Académie d'agriculture de France

Biographies et Résumés

Dominique Job biologiste végétal, directeur de recherche émérite au CNRS, membre de l'Académie d'agriculture de France



Docteur-ès-sciences, il a été chercheur au CNRS, notamment au Laboratoire mixte CNRS/Rhône-Poulenc (devenu Bayer CropScience) à Lyon (UMR5240 CNRS / UCBL / INSA / Bayer CropScience) dont il a assumé la codirection et la direction de 1992 à 2012. Il a été nommé, en 2012, directeur de recherche émérite au CNRS. Il a été président du conseil scientifique du GEVES (2009-2014), délégué scientifique de l'AERES (2012-2013). Dès les années 2000, il a participé à la promotion de la génomique végétale en France et en Europe (programme Génoplatte, ANR, Plant KBBE). Avec son équipe, il a publié plus de 140 publications notamment dans le domaine de la vigueur germinative des graines*.

Introduction

En agriculture, les semences incluent les graines et, par extension, d'autres organes de reproduction (bulbes, tubercules...), choisis pour être semés. Il existe deux grandes catégories de graines. D'une part, les graines dites orthodoxes qui supportent la dessiccation et conservent leur pouvoir germinatif pour de longues périodes (dormance) et peuvent par conséquent être entreposées sèches jusqu'à leur utilisation. Il existe d'autre part des graines dites récalcitrantes qui ne supportent pas une conservation au sec (e.g. graine du cacaoyer). Cette séance traitera uniquement des graines orthodoxes en rapport avec leur longévité à l'état sec.

La graine constitue le principal vecteur de multiplication chez les végétaux et, à ce titre, joue un rôle crucial, au niveau global, dans l'alimentation humaine et animale, notamment grâce à un stockage très élaboré de nombreuses macromolécules (protéines, amidon, lipides, ...) et métabolites (e.g. vitamines, acides aminés essentiels que l'homme ne sait synthétiser). Elle correspond à un stade de développement critique qui présente de nombreuses spécificités, notamment en comparaison du développement de l'embryon humain. La longévité des graines est une problématique centrale aussi bien pour la conservation de la biodiversité que pour le succès des cultures végétales. La graine orthodoxe possède une grande diversité de systèmes (protection, détoxication, réparation) lui permettant de se conserver à l'état sec et de maintenir sa capacité germinative. La graine est ainsi un modèle de choix pour étudier la longévité et le vieillissement. En particulier, des longévités remarquables ont été signalées, par exemple pour le lotus sacré (*Nelumbo nucifera*) (près de 1 300 ans ; Ming et al. 2013) et pour le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) (> 2 000 ans ; Sallon et al. 2008).

La réduction de la longévité des graines orthodoxes est souvent associée à l'oxydation de macromolécules cellulaires (acides nucléiques, protéines, lipides) (exposé de Christophe Bailly). Les graines orthodoxes possèdent deux stratégies principales pour lutter contre ces conditions stressantes : la protection et la réparation. Le mécanisme de protection inclut la formation d'un cytoplasme vitreux pour réduire les activités métaboliques cellulaires et la production d'antioxydants qui empêchent l'accumulation de macromolécules oxydées pendant le stockage des graines (exposé d'Olivier Leprince). Le système de réparation élimine les dommages accumulés durant le stockage. En particulier les graines de lotus sacré renferment la plus grande quantité connue chez les êtres vivants d'une enzyme impliquée dans la réparation du protéome, nommée Protéine L-Isoaspartyl Méthyltransférase. Chez l'homme cette enzyme est connue pour avoir des propriétés antiapoptotiques et serait impliquée dans plusieurs maladies neurodégénératives. Il y a donc une étonnante conservation des mécanismes impliqués dans la lutte contre le vieillissement cellulaire chez tous les organismes. Pendant le stockage à sec, la viabilité des graines diminue progressivement en raison de processus de vieillissement et / ou de détérioration. Les premiers symptômes sont un retard de germination des graines et un mauvais établissement des plantules, ce qui entraîne une réduction du rendement des cultures (exposé de Loïc Rajjou). Les mécanismes moléculaires impliqués dans la longévité des graines commencent à être bien connus (exposé de Julia Buitink). Le but de cette séance est de faire le point sur nos connaissances des mécanismes physiologiques, biochimiques et moléculaires régissant la longévité et le vieillissement des graines.

*Liste des publications disponible à :

https://scholar.google.fr/citations?hl=fr&user=5fi2lzsAAAAJ&pagesize=100&view_op=list_works

Références

Ming et al. 2013. *Genome of the long-living sacred lotus (Nelumbo nucifera Gaertn.)*. **Genome Biology** 14, R41

*Rajjou L, Duval M, Gallardo K, Catusse J, Bally J, Job C, Job D. 2012. Seed germination and vigor. **Annual Review of Plant Biology** 63, 507-533

Sallon et al. 2008. Germination, genetics, and growth of an ancient date seed. **Science** 320, 1464–1464

Olivier Leprince biologiste végétal, spécialiste en anhydrobiose pour la conservation des graines, professeur de physiologie végétale à Agrocampus Ouest



Olivier Leprince est professeur de physiologie végétale à Agrocampus Ouest et chercheur au sein de l'Institut de Recherche en Horticulture et Semences (UMR 1345 INRA, Université d'Angers, Agrocampus Ouest) où il anime une équipe de recherche sur la conservation et la tolérance aux stress des semences. Il a obtenu en 1992, un doctorat en sciences végétales de l'Université de Liège (Belgique). Après des séjours postdoctoraux au *National Seed Storage Laboratory* de l'USDA, au *John Innes Centre* et à l'Université de Wageningen au cours desquels il étudie l'anhydrobiose et les mécanismes de conservation des graines par des approches de biophysique et de biochimie, il est recruté comme professeur à l'Institut National d'Horticulture d'Angers, aujourd'hui Agrocampus Ouest. Il devient directeur de l'UMR Physiologie Moléculaire des Semences entre

2006 et 2012. Depuis plusieurs années, il s'intéresse à l'impact de l'environnement maternel sur l'acquisition de la vigueur germinative et la longévité des graines pendant leur développement. Il est l'auteur de très nombreuses publications dans le domaine de la tolérance à la dessiccation et de la longévité des graines*. Il est éditeur adjoint de *Seed Science Research*.

Etat vitreux des graines et survie à l'état sec

Dès l'Antiquité, on sait que les graines doivent se conserver à l'abri de la chaleur et de l'humidité pour rester fertiles. Cependant, il faut attendre la fin du XIX^{ème} siècle pour comprendre que l'état sec procure aux graines un état de vie latente et entrevoir la perspective de les conserver vivantes de manière éternelle. Ainsi, Nikolaï Vavilov, brillant généticien russe voit dans la longévité des graines un outil de préservation de la biodiversité génétique en créant, dès 1925, la première banque de semences à St Pétersbourg. Après la mise en place des banques de semences, les expériences de conservation en conditions contrôlées s'étalant sur plusieurs dizaines d'années ont mis en évidence que les graines sèches ne se conservent pas aussi longtemps que souhaité et que leur longévité dépend fortement de la température et de la teneur en eau. La découverte que le cytoplasme forme un état vitreux aux faibles teneurs en eau et températures va offrir un cadre conceptuel permettant de mieux comprendre pourquoi leur longévité est influencée par les conditions de stockage, notamment aux températures inférieures à 0°C. Un état vitreux se définit comme un état liquide amorphe et métastable dont les propriétés viscoélastiques ressemblent à celle d'un solide. Dans les graines sèches, le cytoplasme vitreux présente une très forte densité moléculaire et une faible mobilité moléculaire fortement liée à l'aptitude à la conservation, suggérant que cet état vitreux gouverne les réactions de détérioration engendrant la mort des tissus pendant le stockage. Il se forme pendant la dessiccation des graines en développement suite à des interactions complexes entre les molécules d'eau résiduelles et les constituants de cytoplasme. Ces interactions sont similaires à celles formées à partir de mélanges de sucres solubles non réducteurs et de protéines hydrophiles connus pour s'accumuler en fin de développement des graines. Cependant, elles ne sont pas complètement identiques à ces matrices *in vitro* suggérant que d'autres composants cytoplasmiques encore indéterminés interviennent également dans la formation d'un état vitreux. Les recherches actuelles se concentrent sur la caractérisation de la mobilité aux différentes échelles moléculaires (diffusion, vibration, relaxation) dans différents modèles biologiques afin d'expliquer la variabilité de longévité des graines de différentes espèces, de quelques années à plusieurs siècles.

*Liste des publications disponible à <https://scholar.google.fr/citations?user=xFuDLd8AAAAJ&hl=fr>

Publications (sélection)

- Leprince et al. 1993. *The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds*. **Seed Science Research** 3, 231-246
- Leprince, Vertucci. 1995. *Characterization of calorimetric behaviour of intracellular glasses in bean axes in relevance with storage stability*. **Plant Physiology** 109, 1471-1481
- Buitink, Leprince et al. 2000. *Molecular mobility in the cytoplasm: an approach to describe and predict lifespan of dry germplasm*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA** 97, 2385-2390
- Buitink, Leprince. 2004. *Glass formation in plant anhydrobiotes: survival in the dry state*. **Cryobiology** 48, 215-228
- Boudet et al. 2006. *Comparative analysis of the heat stable proteome of radicles of Medicago truncatula seeds during germination identifies late embryogenesis abundant proteins associated with desiccation tolerance*. **Plant Physiology** 140, 1418-1436
- Leprince, Buitink. 2010. *Desiccation tolerance: from genomics to the field*. **Plant Science** 179, 554-564
- Zinsmeister et al. 2016. *ABI5 plays a major role in regulating seed maturation and longevity in legumes*. **The Plant Cell** 28, 2735-2754
- Leprince et al. 2017. *Late seed maturation: drying without dying*. **Journal of Experimental Botany** 68, 827-841

Loïc Rajjou, biologiste végétal, spécialiste de la biologie des graines, professeur à AgroParisTech



Loïc Rajjou est professeur à AgroParisTech au sein du département des Sciences de la Vie et Santé (SVS) et directeur de l'unité de formation et de recherche de Physiologie Végétale. Il exerce ses activités de recherche sur le centre INRA de Versailles au sein de l'Institut Jean-Pierre Bourgin (IJPB), unité mixte de recherche entre l'INRA et AgroParisTech. L'IJPB est reconnu pour son expertise en génétique moléculaire végétale, génomique fonctionnelle, biologie cellulaire et développement et appartient à l'école universitaire de recherche « Saclay Plant Sciences » (SPS). Loïc Rajjou coordonne les initiatives d'innovation et de partenariat de SPS, favorisant la biologie translationnelle.

Il a coordonné avec succès plusieurs projets de recherche et développé une solide expertise en physiologie des graines et en approches « multi-omiques »*. Il a une solide expérience en génomique fonctionnelle intégrative et en biochimie des protéines, en mettant l'accent sur les mécanismes moléculaires contrôlant la qualité des semences en réponse aux changements climatiques et aux évolutions réglementaires des pratiques agricoles**. Ses travaux de thèse ont été récompensés, en 2006, par une Médaille d'Argent de l'Académie d'agriculture de France.

Contrôle métabolique de la longévité des graines

Dans l'histoire évolutive des plantes, plusieurs stratégies adaptatives ont été mises en place pour protéger leur descendance issue de la reproduction sexuée. Maîtriser la longévité des graines est un enjeu majeur dans le cadre de la stratégie de conservation de la biodiversité végétale. Les propriétés de conservation et de viabilité sont très différentes en fonction du lot de graines considéré avec une très forte hétérogénéité inter- et intraspécifique chez les spermatophytes (plantes à graines). Une des stratégies les plus répandues chez les plantes consiste à produire des graines de type « orthodoxe » c'est-à-dire ayant une aptitude de survie en quiescence métabolique à très faible teneur en eau (5%). Cette quiescence métabolique correspond à un arrêt quasi absolu de l'activité cellulaire. Le contrôle de la perméabilité par les enveloppes d'origine maternelle (i.e. téguments) contribue au maintien de l'inactivité métabolique en limitant les échanges entre l'embryon et l'environnement extérieur. De plus, lors de leur maturation sur la plante mère les graines accumulent un arsenal de molécules à forte affinité pour des intermédiaires métaboliques (e.g. minéraux, cofacteurs, hormones), privant ainsi les cellules embryonnaires de ce potentiel de redémarrage de l'activité cellulaire. Le protéome des graines matures sèches est régulé à un niveau traductionnel et post-traductionnel pour contrôler finement l'activité métabolique et maintenir la survie à l'état sec. Chez les espèces cultivées, un intérêt particulier est porté sur le déterminisme génétique de ce contrôle métabolique de la longévité des graines. Les traitements de semences permettant d'améliorer la vitesse et l'homogénéité de germination, tels que le « priming », conduisent à une réduction significative de la longévité. Pour l'industrie semencière, les producteurs de plants et les agriculteurs, le contrôle de la conservation des lots de semences représente un enjeu stratégique.

* L'idée de base associée aux approches « omiques » consiste à appréhender la complexité du vivant dans son ensemble, au moyen de méthodologies les moins restrictives possibles sur le plan descriptif. Caractérisées comme des techniques à très haut débit permettant une analyse simultanée d'un grand nombre de variables, elles comprennent principalement : la génomique, la transcriptomique, la protéomique et la métabolomique.

**liste des publications disponible à <https://scholar.google.com/citations?user=AdhUsOwAAAAJ&hl=fr>

Publications récentes (sélection)

Chauffour et al. 2019. Multi-omics analysis reveals sequential roles for ABA during seed maturation. *Plant Physiology* 180, 1198-1218

Sano et al. 2019. Shotgun proteomic analysis highlights the roles of long-lived mRNAs and de novo transcribed mRNAs upon imbibition in rice seeds upon imbibition. *Plant and Cell Physiology* 60, 2584-2596

Durand et al. 2019. Combined proteomic and metabolomic profiling of the *Arabidopsis thaliana* vps29 mutant reveals pleiotropic functions of the retromer in seed development. *International Journal of Molecular Sciences* 20, 362

Boussardon et al. 2019. Novel cytonuclear combinations modify *Arabidopsis* seed physiology and vigor. *Frontiers in Plant Science* 10, 32

Yazdanpanah et al. 2018. NADP-MALIC ENZYME 1 affects germination after seed storage in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology* 60, 318-328

Nguyen et al. 2015. A role for seed storage proteins in *Arabidopsis* seed longevity. *Journal of Experimental Botany* 66, 6399-6341

Rajjou et al. 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* 63, 507-53

Christophe Bailly, biologiste végétal, spécialiste de la biologie des graines, professeur à Sorbonne Université (Paris)



Christophe Bailly est professeur à Sorbonne Université (Paris) et responsable depuis 2009 de l'équipe " Biologie des semences ", au sein de l'UMR 7622 – Laboratoire de Biologie du Développement (Institut de Biologie Paris Seine). Il a obtenu un doctorat en 1992 à l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC) et a, par la suite, occupé plusieurs postes à l'étranger (Université de Varsovie, Pologne, 1995-2007 ; Université de Lodz, Pologne, 2001 ; Université de Cape Town, Afrique du Sud, 2004 ; Université de l'Etat du Colorado, USA, 2005) et en France, y compris dans le secteur privé (Groupe Limagrain ; 1996-1997). Il a rejoint l'UPMC comme Maître de Conférence en 1997 et est devenu Professeur en 2005. Ses activités de recherche portent sur tous les aspects de la biologie des semences, de la biologie moléculaire à la physiologie de la dormance, de la germination, du stockage et de l'utilisation des semences. Depuis de nombreuses années, il a développé au sein de son équipe le thème portant sur le rôle des espèces réactives de l'oxygène dans la germination et la dormance et il a acquis une expertise reconnue dans ce domaine. Il est (co)-auteur de très nombreux articles dans des revues internationales à comité de lecture*. Il a supervisé 10 doctorants et plus de 30 étudiants de Master et est régulièrement impliqué dans divers projets collaboratifs (ANR, FUI, KBBE) ou avec des acteurs de la filière « semences » européenne. Il est éditeur associé de *Seed Science and Technology*.

Graines, vieillissement et dormances

La dormance est un mécanisme adaptatif qui bloque la germination des graines alors que les conditions de l'environnement semblent défavorables. Elle participe ainsi de façon dynamique à la survie et à la propagation des végétaux dans les écosystèmes naturels. Présente lors de la dissémination des graines après leur dessiccation sur la plante mère, la dormance est souvent éliminée lors de leur conservation au sec et cette évolution peut être considérée comme la première phase de leur vieillissement. Dans ces conditions de faible teneur en eau et de vie ralentie, l'oxygène, en diffusant au sein des tissus séminaux, peut conduire à l'oxydation de nombreuses molécules, ce qui peut dans un premier temps être bénéfique pour la germination, avant de causer des dommages oxydants irréversibles pouvant conduire à la mort des graines. Au niveau de la banque de graines du sol, la dormance constitue un mécanisme très important de la survie des graines. En effet, lorsqu'elles sont enfouies dans le sol les graines peuvent évoluer de façon cyclique d'un état dormant vers un état non-dormant, et inversement, jusqu'au moment où les conditions agroclimatiques deviennent favorables à la germination et à l'établissement d'une nouvelle génération de plantes. De ce fait, la dormance participe ainsi de façon active à la longévité des graines dans le sol, mais ce phénomène demeure mal compris. Toutefois, dans le contexte général du réchauffement climatique, la mise en place et l'élimination de la dormance risquent d'être profondément altérées dans les prochaines décennies, modifiant ainsi la dynamique de population des écosystèmes végétaux. Les conséquences possibles de ces changements seront abordées de même que la relation potentielle entre intensité de dormance et aptitude à la survie des graines.

*Liste des publications disponible à <https://scholar.google.com/citations?user=naOkXI0AAAAJ&hl=fr&oi=ao>

Publications (sélection)

- Bailly et al. 1996.** *Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seeds as related to deterioration during accelerated aging.* **Physiologia Plantarum** 97, 104-110
- Bailly C. 2004.** *Active oxygen species and antioxidants in seed biology.* **Seed Science Research** 14, 93-107
- Oracz et al. 2007.** *ROS production and protein oxidation as a novel mechanism for seed dormancy alleviation.* **The Plant Journal** 50, 452-465
- Bailly et al. 2008.** *From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology.* **Comptes Rendus Biologies** 331, 806-814
- Bazin et al. 2011.** *Targeted mRNA oxidation regulates sunflower seed dormancy alleviation during dry after-ripening.* **The Plant Cell** 23, 2196-2208
- El-Maarouf-Bouteau et al. 2015.** *Reactive oxygen species, abscisic acid and ethylene interact to regulate sunflower seed germination.* **Plant Cell and Environment** 38, 364-374
- Basbous-Serhal et al. 2017.** *5' to 3' mRNA decay contributes to the regulation of Arabidopsis seed germination by dormancy.* **Plant Physiology** 173, 1709-1723
- Bailly C. 2019** *The signalling role of ROS in the regulation of seed germination and dormancy.* **Biochemical Journal** 476, 3019-3032

Julia Buitink, biologiste végétal, directrice de recherche à l'INRA, spécialiste en biologie des graines, avec un intérêt particulier pour les approches de biologie des systèmes pour comprendre la survie des graines à l'état sec



Julia Buitink effectue ses recherches à l'Institut de Recherche en Horticulture et Semences (INRA/Agrocampus Ouest/Université d'Angers), où elle co-pilote une équipe de recherche. Son objectif est de comprendre les mécanismes et voies de régulation impliquées dans la vigueur germinative des graines pendant leur maturation sous contraintes (a)biotiques, principalement chez les légumineuses. Elle cherche également à identifier les gènes régulant la plasticité phénotypique liée à la longévité des graines. Elle a obtenu, en 2000, un doctorat en sciences végétales de l'Université de Wageningen (Pays-Bas) et, en 2002, une Habilitation à diriger la recherche décernée par l'Université d'Angers. Elle est, cette même année, chercheur invité au *Massachusetts General Hospital*, Boston, USA, puis recrutée comme chargée de recherche à l'INRA. Elle est promue directrice de recherche dans ce même organisme en 2008. Elle est l'auteur de très nombreuses publications dans le domaine des mécanismes moléculaires conférant la tolérance à la dessiccation et de la longévité des graines*. Depuis 2017, elle est *President-Elect* de l'*International Society for Seed Science* (ISSS) et a servi *Seed Science Research* comme éditrice adjointe entre 2012 et 2017.

Mécanismes moléculaires de la survie à l'état sec des graines

La survie à l'état sec comprend deux composantes : la tolérance à la dessiccation et la longévité. La première correspond à la capacité à tolérer une déshydratation rapide amenant la teneur en eau des cellules en équilibre avec l'humidité de l'air ambiant, soit environ 10% du poids frais correspondant à un potentiel hydrique inférieur à – 100 MPa. Cette extraordinaire propriété confère aux tissus secs la capacité de résister à des conditions extrêmes de l'environnement. Sachant que la tolérance à la dessiccation est présente dans une vaste gamme d'espèces allant des bactéries aux plantes telles que mousses, pollens, graines, plantes reviviscentes et animaux inférieurs invertébrés en passant par les champignons, la compréhension des mécanismes de protection est porteuse de promesses technologiques ambitieuses allant des voyages interplanétaires à la préservation par *lyopreservation*** de produits pharmaceutiques tels que les anticorps voire même de tissus complexes comme le sang humain. Cette protection est conférée par un ensemble de composés polyhydroxylés aussi ubiquistes que le saccharose mais également par des protéines hydrophyles intrinsèquement désordonnées, tous ayant des fonctions multiples de stabilisation des membranes, cytoplasme et chromatine. De plus, la synthèse de molécules antioxydantes ainsi qu'une répression coordonnée du métabolisme pendant la phase de dessiccation empêchent l'accumulation de composés dont la concentration peut devenir toxique pour les cellules sèches. La seconde composante de la survie à l'état sec est la longévité, c'est-à-dire la capacité de rester viable pendant une longue période de stockage. Elle est acquise en fin de maturation de la graine en fonction des conditions de température, lumière et disponibilité en eau rencontrées par le porte-graines avant même la fécondation. Chez les plantes sauvages, la longévité est interprétée comme une stratégie adaptative permettant d'optimiser la dissémination de l'espèce vis-à-vis des climats secs et chauds. En revanche chez les espèces cultivées, cette influence de l'environnement peut constituer un frein à la conservation de la biodiversité ou à la production de graines de haute qualité germinative. Le décalage entre acquisition de la tolérance à la dessiccation et longévité pendant le développement de la graine est actuellement mis à profit pour élucider les voies hormonales et les systèmes de régulation géniques contrôlant des sous-ensembles spécifiques de chacune des deux composantes de la survie à l'état sec. La compréhension des mécanismes d'activation des gènes sous-jacents pourrait offrir des solutions biotechnologiques visant à produire des plantes plus tolérantes aux stress hydriques.

* Liste des publications disponible à :

https://scholar.google.com/citations?hl=fr&user=cNtcXgcAAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate

** Technique de préservation d'échantillons biologiques à température ambiante (He et al. 2006. *Water activity and mobility in solutions of glycerol and small molecular weight sugars: Implication for cryo- and lyopreservation. Journal of Applied Physics* 100, 074702)

Publications (sélection)

Pellizzaro et al. 2019. A role for auxin signaling in the acquisition of longevity during seed maturation. *New Phytologist* 225, 284-296

Lima, Buitink et al. 2017. Molecular characterization of the acquisition of longevity during seed maturation in soybean. *PLoS One* 12, e0180282

Righetti et al. 2015. Inference of longevity-related genes from a robust coexpression network of seed maturation identifies regulators linking seed storability to biotic defense-related pathways. *The Plant Cell* 27, 2692-2708

Verdier et al. 2013. A regulatory network-based approach dissects late maturation processes related to the acquisition of desiccation tolerance and longevity of *Medicago truncatula* seeds. *Plant Physiology* 163, 757-774

Leprince, Buitink. 2010. Desiccation tolerance: from genomics to the field. *Plant Science* 179, 554-564

Conclusion de la séance par Françoise Corbineau

Françoise Corbineau, biologiste végétal, spécialiste en biologie des graines, avec un intérêt particulier pour la caractérisation des mécanismes régulant la germination et les dormances des graines. Elle est professeur des universités (Sorbonne Université) et membre de l'Académie d'agriculture de France



Professeur à Sorbonne Université, elle effectue ses recherches à l'UMR7622 - Biologie du Développement (Institut de Biologie Paris-Seine) au sein de l'équipe Biologie des Semences. Elève Professeur à l'Ecole Normale Supérieure de Fontenay-aux-Roses (1973-1976), elle obtient une Agrégation de Sciences Naturelles (1976), un doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie (1979) puis un doctorat ès sciences de cette même université (1983).

Elle est recrutée comme chargée de recherche au CNRS (1979-1990) puis débute, à partir de 1990, une carrière universitaire à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris), où elle est promue professeur en 1994. Ses recherches sont, tant au plan fondamental qu'au plan appliqué, centrées sur les axes suivants :

- 1) Régulation physiologique, biochimique et hormonale de la germination et de la dormance des graines en fonction de facteurs externes ;
- 2) Mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués dans la réponse des semences et plants aux stress abiotiques (hypoxie, déshydratation, refroidissement, températures élevées) ;
- 3) Vieillesse et stockage des graines orthodoxes et récalcitrantes ;
- 4) Évaluation et amélioration de la qualité des graines.

Elle est auteur ou co-auteur de plus de 200 articles de recherche dans des revues scientifiques* et de rapports de congrès, de 10 chapitres dans des livres et de 2 livres, en particulier sur la physiologie et la biochimie des graines, d'environ 200 communications orales et affiches dans des réunions et congrès scientifiques, et promotrice de 49 stages de maîtrises et de 16 thèses de doctorat.

De 2011 à 2014, elle a été *President-Elect* puis Présidente de l'*International Society for Seed Science* (ISSS) (de septembre 2014 à septembre 2017). Elle a par ailleurs été vice-présidente déléguée aux Affaires Immobilières de l'Université Pierre et Marie Curie-Paris (de 2012 à 2017). Françoise Corbineau est, depuis 1995, membre de l'Académie d'agriculture de France.

*Liste des publications disponible à : https://www.researchgate.net/profile/Francoise_Corbineau

Quelques publications récentes

- Bui et al. 2019. *Assessment of the conservation of ethanol fermentation and its regulation in land plants. Journal of Experimental Botany* 70, 1815-1827
- Xia et al. 2019. *Re-localization of hormone effectors is associated with dormancy alleviation by temperature and after-ripening in sunflower seeds. Scientific Reports* 9, 4861
- Xia et al. 2018. *Integrating proteomics and enzymatic profiling to decipher seed metabolism affected by temperature in seed dormancy and germination. Plant Science* 269, 118-125
- Wang et al. 2018. *Revisiting the role of ethylene and N-end rule pathway on chilling-induced dormancy release in Arabidopsis seeds. International Journal of Molecular Sciences* 19, 3577
- Rodriguez et al. 2015. *Dormancy in cereals (not too much, not so little): about the mechanisms behind this trait. Seed Science Research* 25, 99-119
- Corbineau et al. 2014. *Ethylene, a key factor in the regulation of seed dormancy. Frontiers in Plant Science* 5, 539
- Gibbs et al. (2011) *Homeostatic response to hypoxia is regulated by the N-end rule pathway in plants. Nature* 479, 415-418

L'Académie d'agriculture de France descend en ligne directe de la Société d'Agriculture de la Généralité de Paris, fondée en 1761 par Louis XV. Constituée de personnalités les plus éminentes



dans le domaine de l'agronomie (DUHAMEL du MONCEAU, BUFFON, LAVOISIER, MALTHUS, VILMORIN...), elle a vu le jour en plein « siècle des Lumières », à un moment où il devenait essentiel de développer l'agriculture de notre Pays, en utilisant et en améliorant les techniques disponibles. Le président de la République en est son protecteur, et le Ministre de l'agriculture son président d'honneur. Vers 1785, elle adopte pour devise « *Ex utilitate decus* » (de l'utilité vient l'honneur). Sa mission est de contribuer, dans les domaines scientifique, technique, économique, juridique, social et culturel, à l'évolution de l'agriculture et du monde rural (<https://www.academie-agriculture.fr/#>).

Elle rassemble 120 membres titulaires, 60 membres étrangers, 180 correspondants nationaux et 60 correspondants étrangers, répartis en dix sections : Productions végétales, Forêts et filière bois,

Production animale, Sciences humaines et sociales, Interactions milieux-êtres vivants, Sciences de la vie, Environnement et territoires, Alimentation humaine, Agrofournitures, Économie et politique.

Contact : 18, rue de Bellechasse, 75007 Paris

Téléphone : 01 47 05 10 37

Courriel : contact@academie-agriculture.fr

