



LAPSE

LMI Adaptation des Plantes et microorganismes associés
aux Stress Environnementaux

Bilan des activités (2012-2017)





Résumé exécutif du bilan

Le Laboratoire mixte international Adaptation des Plantes et microorganismes associés aux Stress Environnementaux (LAPSE) est le fruit d'un partenariat ancien entre l'IRD, l'Institut Sénégalais des Recherches Agricoles (ISRA), l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), l'AfricaRice et l'Université de Thiès. Il avait comme objectif de développer de nouvelles stratégies pour exploiter la diversité des plantes et des microorganismes symbiotiques associés en vue d'améliorer de façon durable la production agricole et réhabiliter les écosystèmes dégradés.

Le LAPSE a développé des projets de recherche en biologie intégrative visant à mieux exploiter la biodiversité des plantes et des microorganismes visant à identifier les déterminants génétiques de l'adaptation des plantes et des microorganismes associés aux contraintes abiotiques, et mieux comprendre la dynamique des interactions entre plantes et microorganismes associés et leur impact sur la résilience des agro- et écosystème aux changements globaux. Sur l'ensemble du mandat, les travaux de recherche du LMI ont fait l'objet de 57 publications dans des journaux à comité de lecture (voir liste complète des publications en annexe 2).

Le LAPSE a contribué au renforcement des capacités au Sénégal et en Afrique de l'Ouest via l'organisation et l'animation de 5 modules de Master, l'organisation de 8 ateliers de formation régionaux et la formation par la recherche (38 thèses accueillies dont 13 soutenues).

Six plateformes technologiques ont été créées pour faciliter la mise en commun des outils et expertises de chaque équipe. Ces plateformes ont constitué un élément central pour la structuration des activités de recherche et de formation et ont fait l'objet d'un effort important du LAPSE (> 250 k€ d'investissements des différents partenaires sur ce mandat).

Une activité d'animation et de diffusion des résultats de la recherche a également été menée via l'organisation annuelle des journées du LAPSE. Une conférence internationale a été organisée en 2017 à Dakar. Elle a rassemblé plus de 170 chercheurs de diverses institutions nationales et internationales et a permis de diffuser les résultats des recherches réalisées au cours du premier mandat du LAPSE. Enfin, des actions de valorisation de nos travaux de recherche ont été entreprises mais ce volet est clairement à consolider.

En conclusion, le LAPSE a eu un effet structurant fort. Il a contribué à renforcer les partenariats existants entre équipes françaises et sénégalaises et entre équipes sénégalaises et favorisé l'émergence de nouvelles activités pluridisciplinaires de recherche et de formation. L'effet levier du LAPSE est important : ce partenariat a permis de répondre à des appels à projets internationaux et d'obtenir 19 projets financés par différents bailleurs nationaux et internationaux (voir annexe 4) pour un montant global de 2 380 835,75 €. Nous avons également obtenu le financement de 12 thèses par la coopération universitaire allemande (DAAD) et de 17 thèses à travers le WAAPP.



1. Rappel des objectifs du LMI

L'Afrique de l'Ouest doit faire face à un double défi : sa population est en forte croissance et un ensemble de facteurs environnementaux et anthropiques mettent en péril la capacité de la région à nourrir cette population. Comme contribution à ces enjeux de développement, le **Laboratoire mixte international Adaptation des Plantes et microorganismes associés aux Stress Environnementaux (LAPSE)** s'était fixé comme objectif de développer de nouvelles stratégies pour **exploiter la diversité des plantes et des microorganismes symbiotiques associés** en vue d'**améliorer la production agricole et réhabiliter de façon durable les écosystèmes dégradés**.

Pour cela, le LAPSE rassemble depuis 2012 une combinaison unique de profils scientifiques en biologie végétale et microbiologie appartenant à diverses institutions et travaillant à plusieurs échelles (du gène à l'écosystème) pour développer une approche intégrative visant à mieux exploiter la biodiversité des plantes et des microorganismes pour améliorer de façon durable la production agricole et réhabiliter les écosystèmes dégradés. Leurs travaux ont été réalisés en étroite collaboration avec des équipes de recherche de la sous-région et du Nord. Les objectifs scientifiques du LMI étaient 1) **d'identifier les déterminants génétiques de l'adaptation des plantes et des microorganismes associés aux contraintes abiotiques**, et 2) de mieux **comprendre la dynamique des interactions entre plantes et microorganismes associés et leur impact sur la résilience des agro- et écosystème aux changements globaux**.

Le LAPSE avait également pour objectif une mutualisation des moyens matériels et humains de manière à **mettre en place une plateforme technologique à vocation régionale** pour servir d'appui aux projets de recherche et de formation développés dans le cadre du LMI et accueillir les chercheurs de la région travaillant sur l'amélioration des plantes d'intérêt agricole et la restauration des écosystèmes dégradés.

Le LAPSE avait pour vocation de **contribuer au renforcement des capacités** en particulier dans des domaines thématiques où il n'existe que peu d'enseignements dans la Région (génomique, bioinformatique, biosécurité,...) via 1) l'organisation de modules pour l'Ecole Doctorale Sciences de la Santé de l'Environnement et de la Vie et des Masters de l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) à fort rayonnement régional (MIBioT, BIOVEM, Biomathématique-Bioinformatique), 2) l'organisation d'ateliers de formation régionaux et 3) la formation par et pour la recherche.

Enfin, l'objectif du LMI était d'utiliser une approche intégrée pour **développer de nouveaux outils pour contribuer à réhabiliter les éco et agrosystèmes dégradés et assurer la sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest**. Les résultats attendus de ces travaux de recherche devaient contribuer à : (i) soutenir les grands programmes de revégétalisation et réhabilitation des sols (Grande Muraille Verte, réhabilitation des sols salés, ...), (ii) sélectionner de nouvelles variétés de plantes alimentaires mieux adaptées aux contraintes environnementales rencontrées en Afrique de l'Ouest (sécheresse, salinité...), et, (iii) proposer de nouvelles pratiques culturales impliquant l'utilisation de microorganismes bénéfiques pour accroître la production agricole. Par ailleurs, le LAPSE devait soutenir la mise en place du laboratoire national de référence pour la détection d'OGM (UCAD) financé par l'Union Economique et Monétaire Ouest-Africaine (UEMOA).

2. Présentation du partenariat et de la gouvernance

2.1 Equipes impliquées

Ce projet de LMI s'appuyait sur des collaborations anciennes et fructueuses entre deux UMRs de l'IRD basées à Montpellier et des équipes de recherches de l'ISRA, du Département de Biologie Végétale de l'UCAD, de l'Université de Thiès et de l'AfricaRice. Il fédérait ainsi au Sénégal, le Laboratoire Campus de Biotechnologies Végétales (LCBV, UCAD, Dakar), l'Unité de Recherche en Culture *In vitro* (URCI, ISRA, Dakar), le Centre Régional d'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS, ISRA, Thiès), l'Université de Thiès et le Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM, IRD/ISRA/UCAD, Dakar), et en France, les Unités Mixtes de Recherche Diversité Adaptation et Développement des plantes (DIADE, IRD/UM2) et Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (LSTM, IRD/UM2/Cirad/SupAgroM/INRA). Des chercheurs de la station Sahel d'AfricaRice (Ndiaye, Sénégal) et du Centre National de Recherches Forestières (CNRF, ISRA, Dakar) étaient également associés au LMI. Au cours de ce mandat, 2 nouvelles équipes associées ont rejoint le LAPSE après avis du Comité Scientifique et validation par le Comité de Direction : le Centre National des Recherches Agronomiques (CNRA, ISRA, Bambey) et le Laboratoire de Biotechnologie des Champignons (LBC, UCAD, Dakar). Ces entrées soulignent l'attractivité du LAPSE et ont permis de renforcer l'équipe avec de nouvelles compétences.

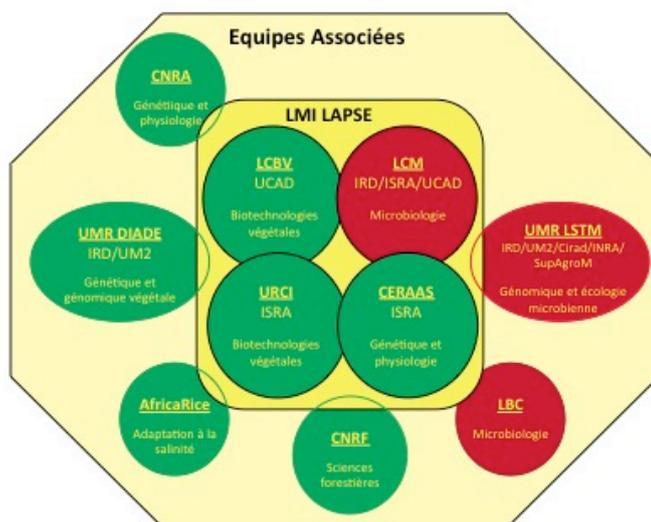


Figure 1: Organisation du LAPSE en fin de mandat. Les équipes sont colorées en fonction de leur champs d'activité principal (microbiologie en rouge et biologie végétale en vert).

2.2 Gouvernance

La gouvernance du LAPSE était organisée autour des éléments suivants.

Une **Direction** constituée par le Pr Ibrahima Ndiaye (UCAD) et le Dr Laurent Laplaze (IRD) en qualité de co-directeurs. La Direction était chargée de 1) l'**animation** du LAPSE, et de 2) la **gestion administrative et financière**. Elle rendait compte de ses activités annuellement au Comité de Direction. Il faut noter que malgré de nombreuses



demandes d'attribution d'un poste de secrétaire auprès des institutions impliquées, la Direction du LAPSE n'a pas pu bénéficier pendant ce mandat d'un soutien administratif ce qui a contribué à fortement augmenter la charge de travail pour les co-directeurs.

Le **Comité de Direction** (CoDir) du LAPSE est la **structure de décision**. Il est formé d'un représentant des cinq institutions partenaires. Actuellement, le CoDir est formé des Dr Laurent Vidal, Représentant IRD au Sénégal, Dr Alioune Fall, Directeur Général de l'ISRA, Pr Papa A. Ndiaye, Directeur de la Recherche de l'UCAD, Dr Kabirou Ndiaye, Directeur de la Station AfricaRice de St Louis et du Pr Ibrahima Diedhiou, Directeur de la Recherche de l'Université de Thiès. Le CoDir décide de la répartition du budget, analyse les rapports d'activité de la Direction, décide des modifications de périmètre du LMI et globalement est chargé d'arbitrer toutes les décisions concernant le LMI. Le CoDir se réunit généralement une fois en début d'année en présence des deux co-directeurs pour faire le point sur les activités de l'année précédente et décider de la distribution du budget de l'année en cours selon les grandes activités (recherche, formation, plateformes). Il est sollicité par email selon les besoins pour des décisions au cours de l'année.

Un **Comité Scientifique** (CS) est en charge de l'**évaluation externe** des projets soumis au LAPSE et plus globalement de donner un avis extérieur et scientifique sur toutes les décisions stratégiques (par exemple l'intégration d'une nouvelle équipe). Il a été volontairement constitué de chercheurs de renommée internationale externes au LMI pour garantir son impartialité. Il est actuellement formé des Dr Michel DELSENY, Centre National de la Recherche Scientifique (France), Pr Khaled MASMOUDI, United Arab Emirates University (Emirats Arabes Unis), Dr Philippe NORMAND, Centre National de la Recherche Scientifique (France), Pr Marc-André SELOSSE, Muséum National d'Histoire Naturelle (France), et Dr Oumar TRAORE, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (Burkina Faso). Le CS se réunit (en visioconférence) une fois par an avec la direction pour arbitrer les demandes de financements sur projet du LAPSE (voir 2.3 ci-dessous) et est consulté par email en fonction des besoins.

Enfin, un **Comité des Plateformes** (CP) formé de l'ensemble des responsables de plateformes et des deux co-directeurs était chargé d'analyser et d'arbitrer les besoins d'équipement, travaux et maintenance des différentes plateformes (voir aussi partie 3).

2.3 Modes d'intervention du LAPSE

Le LAPSE réalise ses objectifs au travers des actions suivantes :

- le **financement des plateformes technologiques** communes (voir partie 3);
- un **appel à projets** interne annuel pour financer i) de petits projets de recherche (budget de l'ordre de 3 k€) impliquant plusieurs équipes du LMI pour favoriser les interactions, ii) des formations, ou iii) des participation à des congrès. Les projets sont évalués par le CS. Ces appels conçus sous forme de « seed money » permettent d'initier des activités et d'améliorer les chances de succès pour des appels avec des budgets plus élevés. Nous avons par exemple eu un fort taux de réussite à des appels compétitifs (type projets FIRST du MESR du Sénégal) pour des jeunes chercheurs dont nous avons soutenu l'initiation du projet;
- organisations de **formations** (voir partie 5);

- organisation d'une **conférence annuelle** pour échanger entre équipes et diffuser les résultats du LMI. Les **journées du LAPSE** ont été organisées tous les ans entre 2012 et 2016. Un membre du CS était représenté à chaque conférence pour y faire une communication et rencontrer les membres du LAPSE.

Pour la dernière année du LAPSE, nous avons organisé une conférence internationale à Dakar avec le LMI IESOL (Intensification Ecologique des Sols Cultivés en Afrique de l'Ouest), le Dispositif de recherche et formation en Partenariat IAVAO (Innovation et Amélioration Variétale en Afrique de l'Ouest) et le SIIL (Feed the Future Innovation Lab for Collaborative Research on Sustainable Intensification). Cette conférence intitulée "**Conférence Intensification Durable 2017 (CID2017) : Biodiversité et ingénierie écologique pour une intensification durable de l'agriculture**" a rassemblé plus de 170 chercheurs de diverses institutions nationales et internationales du 24 au 26 Avril 2017 et a permis de diffuser les résultats des recherches réalisées dans le cadre du LAPSE.



Figure 2: Participants à la conférence CID2017 (Dakar, Avril 2017).

3. Plateformes

Le LAPSE fédère des équipes ayant des identités scientifiques très fortes et complémentaires. L'un des objectifs du LMI était de renforcer les interactions entre ces équipes pour faire émerger des approches pluridisciplinaires. L'un des moyens pour favoriser ces interactions était de faciliter la mise au service de la communauté des outils et expertises de chaque équipe à travers des **plateformes technologiques** ouvertes aux équipes du LAPSE. Par ailleurs, la mise en place de ces plateformes visait également à mutualiser les moyens financiers et humains des différents partenaires pour pouvoir disposer d'équipements le plus performants possibles, d'en assurer l'entretien et de disposer du personnel technique pour les entretenir, les faire fonctionner et former les utilisateurs. Ce sont des structures ouvertes aux différents



laboratoires du LMI mais également aux chercheurs d'Afrique de l'Ouest dédiées à la recherche et à la formation.

L'équipement initial des plateformes a été constitué 1) en mettant en commun le matériel existant, et 2) en achetant des équipements manquants et stratégiques grâce au financement « équipement » du LMI et en répondant à des appels d'offres. A la création du LMI en 2012, les plateformes suivantes ont été mises en place en coordination avec les équipes correspondantes :

1) une **Plateforme de Microbiologie**, située au LCM, qui met à la disposition de la communauté les outils et le savoir-faire pour l'isolement et l'identification de microorganismes symbiotiques (bactéries fixatrices d'azote et champignons mycorhiziens). Cet atelier dispose également d'une collection de référence de souches de microorganismes symbiotiques. Elle est coordonnée par le Dr Tatiana Wade (IRD);

2) une **Plateforme de Biologie Cellulaire**, située au LCM, qui met à disposition des outils et compétences en imagerie et en mesure d'activités cellulaires. Elle est coordonnée par Maimouna Cissokho (IRD);

3) une **Plateforme de Génétique Moléculaire Végétale**, basée à l'URCI et au CERAAS, qui met à disposition des outils et compétences pour la caractérisation de la diversité génétique et la cartographie en utilisant des marqueurs moléculaires et des techniques de pointe de séquençage haut débit. Elle est coordonnée par les Dr Ndjido Kane (ISRA/URCI) et Dr Daniel Foncéka (Cirad/CERAAS);

4) une **Plateforme de Génomique Fonctionnelle** des plantes, située au LCBV, qui met à disposition les outils et compétences en biotechnologies végétales. Elle est coordonnée par le Pr Mame Ourey Sy (UCAD).

Par ailleurs, de nouvelles plateformes ont été créées au cours de ce mandat:

5) une **Plateforme de Phénotypage**, située au CERAAS, qui met à disposition des outils et l'expertise pour la mesure de caractères physiologique et morphologiques de la plante au champ. Elle est coordonnée par le Dr Bassirou Sine (ISRA);

6) une **Plateforme de PCR quantitative** équipée d'un appareil StepOnePlus Real Time PCR system de la société Applied Biosystems. La plateforme est gérée par Maimouna Cissokho (IRD, LAPSE) et Mariama Gueye (IRD, IESOI).

Chaque coordinateur de plateforme, accompagné de son équipe, est chargé de veiller au bon fonctionnement et à l'accessibilité des matériels. Il est le point focal pour les demandes d'accès ou d'expertise.

La mise en place et le fonctionnement de ces plateformes technologiques étant un objectif majeur du LAPSE, une part importante du budget lui a été consacrée. Au cours de la période 2012-2016, 89 014,86 € du budget récurrent IRD du LMI ont été consacrés aux travaux, à la maintenance des équipements et à l'achat d'équipements pour les plateformes. Il s'agissait du premier poste de dépense. Nous avons également obtenu 59 750 € de financement ponctuel pour l'achat d'équipements auprès de l'IRD et 110 k€ via l'ISRA (WAAPP infrastructures et projets). Ces budgets consacrés aux plateformes sont gérées par un comité de plateforme formé des 6 coordinateurs et des 2 co-directeurs du LAPSE. Le comité de plateforme se réunit 2 fois par an pour faire le point des besoins en équipements, travaux et réparations pour mettre en place les différentes plateformes et arbitrer les budgets demandés. La première réunion en mars ou avril est consacrée aux réparations, entretiens, maintenance et travaux ou demandes d'équipement urgentes.



Le reste du budget est mis de côté pour faire face à des problèmes potentiels (pannes, etc.). Cette part restante augmentée du reliquat de budget du LMI est dépensée suite à une deuxième réunion en septembre ou octobre. Il faut noter que le LMI ne prend en charge que l'achat et l'entretien des appareils et locaux des plateformes. Le coût des expériences reste à la charge des utilisateurs.

En bilan, on peut dire que la mise en place du LAPSE a permis de renforcer considérablement le panel d'outils disponibles pour la recherche agronomique au Sénégal. L'un des points importants de notre action a été de veiller à l'entretien et au calibrage des appareils (dans une logique de management de la qualité) et de garantir leur accessibilité dans de bonnes conditions. En effet, il est souvent facile de trouver des budgets pour l'achat d'équipements modernes dernier cri mais l'absence de suivi ou entretien (faute de budget ou de prestataire) ou leur faible accessibilité (si utilisé par une seule équipe) limite souvent leur utilisation et donc leur rentabilisation. L'existence de ces plateformes a contribué au succès des projets de recherche mais également au renforcement des capacités dans la région (4 doctorants issus d'Afrique de l'Ouest accueillis pour des expériences sur les plateformes). Des points de progrès sont cependant possibles pour améliorer leur fonctionnement et leur attractivité (voir partie Perspective du rapport).

4. Activités de recherche

4.1 Principaux résultats

Plutôt que de faire un compte rendu exhaustif des activités de recherche, nous avons pris le parti de faire ressortir quelques résultats marquants.

Reconnaissance de la bactérie symbiotique Frankia par sa plante hôte Casuarina

Les filaos (=Casuarina) sont capables de fixer l'azote de l'air en établissant une symbiose avec des bactéries du genre *Frankia*. La reconnaissance des bactéries symbiotiques par la plante est une étape cruciale de cette symbiose. Afin d'étudier les signaux permettant cette reconnaissance nous avons caractérisé le facteur de transcription CgNIN de *Casuarina glauca*. Nous avons montré qu'à l'instar de ses orthologues chez les Légumineuses, *CgNIN* est essentiel pour la nodulation actinorhizienne. Nous avons ensuite utilisé l'expression précoce et spécifique de ce gène en réponse à *Frankia* pour caractériser un facteur bactérien de signalisation symbiotique. Ce facteur actinorhizien est une petite molécule sécrétée par *Frankia* qui est capable d'induire des oscillations calciques similaires à celles observées en réponse aux facteurs Nod rhizobiens ou aux Myc-LCO de champignons mycorhiziens arbusculaires mais contrairement à ces deux facteurs, le facteur actinorhizien résiste à l'action de chitinases ce qui suggère une nature chimique différente.

Rôle de la symbiose actinorhizienne dans la tolérance au sel chez les Casuarinaceae

Au Sénégal plus d'un tiers des terres cultivables sont affectées par la salinisation. Les arbres de la famille des *Casuarinaceae* capables d'établir une symbiose fixatrice d'azote avec une bactérie du sol nommé *Frankia* (symbiose actinorhizienne) sont tolérants au sel et pourraient être utilisées dans les programmes de réhabilitation des sols salés. Nous avons montré que la symbiose actinorhizienne améliore non seulement la

croissance des plantes en condition de sol dégradé mais également leur tolérance à la salinité. Toutefois, nos résultats indiquent que le stress salin altère la mise en place de la symbiose chez *Casuarina glauca* en partie du fait d'effets négatifs de la salinité sur les processus d'infection par *Frankia* (réduction du nombre des sites potentiels d'infection ou de la perception des signaux symbiotiques). Le criblage d'une collection de souches de *Frankia* nous a permis d'identifier une souche très tolérante au sel originaire du Sénégal.

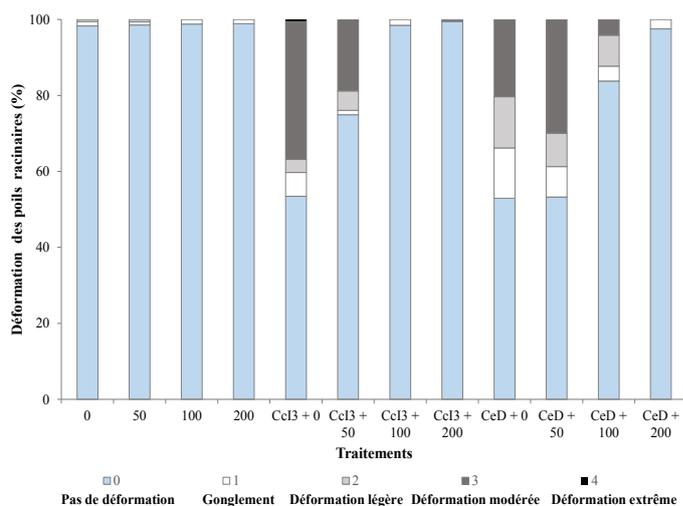


Figure 3: Quantification de la déformation des poils racinaires chez les plantes contrôles et inoculées de *C. glauca* en conditions salines (Ngom et al, 2016). Cette figure montre le pourcentage de poils déformés au niveau des racines latérales de *C. glauca*, 2 jours après inoculation séparément avec les souches de *Frankia* CcI3 et CeD. L'intensité de déformation de chaque poil a été déterminée en utilisant l'échelle décrite par (Clavijo et al, NewPhytol 2015).

Pour mieux comprendre les mécanismes moléculaires impliqués dans la tolérance au stress salin chez *C. glauca* et *Frankia*, des approches de génomique comparative bactérienne et de transcriptomique (chez la plante et la bactérie) ont été développées en collaboration avec le laboratoire de Louis Tisa (University of New Hampshire, USA) et les résultats sont en cours d'analyse. L'ensemble des travaux portant sur cette thématique a d'ores et déjà été valorisé par 6 publications (Ngom *et al* 2016 a,b,c,d; Oshone *et al* 2016; Selvakesavan *et al* 2016).

Adaptation de *Mesorhizobium d'Acacia seyal* Del. et d'*A. senegal* (L.) Willd. à la salinité

L'utilisation de plantes tolérantes au sel telles que *Acacia seyal* Del. et *A. senegal* (L.) Willd. en association symbiotique avec des rhizobia sélectionnés pour leur efficacité et leur tolérance au sel pourrait jouer un rôle important dans les programmes de réhabilitation des sols salés. Ces approches nécessitent une bonne connaissance de l'écologie, de la diversité et des capacités adaptatives aux conditions environnementales des populations de rhizobia indigènes du sol. Nos travaux ont révélé une grande diversité génétique des symbiotes d'acacia avec la mise en évidence de trois nouvelles espèces en plus de l'espèce *M. plurifarum* déjà décrite. L'analyse de l'expression des gènes en condition de stress salin (NaCl) a montré que les mécanismes impliqués dans le transport d'ions, la transcription, l'oxydation, la glycolyse, la synthèse et la structure de la paroi bactérienne sont spécifiques aux souches de *M. plurifarum* les plus tolérantes au sel. Ces mécanismes constitueraient ainsi les bases génétiques sous-tendant les différents phénotypes de tolérance au sel observés chez les *Mesorhizobium* d'acacia

(Diouf et al, 2015). Les gènes cibles identifiées chez les mesorhizobia d'acacia pourront servir de marqueurs de la tolérance au stress salin. Une recherche de ces gènes parmi les collections de souches de rhizobia isolées de diverses légumineuses permettra d'identifier des souches avec un fort potentiel pour les inoculations sur des sols sous contrainte saline.

***Sporobolus robustus* Kunth - une plante nurse pour la reforestation des zones salées**

Dans le Delta du Sine et Saloum où la salinité est la contrainte majeure de la végétation ligneuse, *Sporobolus robustus* Kunth, une graminée halophyte pérenne forme des touffes à l'intérieur desquelles émergent souvent de jeunes *Vachellia seyal* Del. et *Prosopis juliflora* (Swartz) DC, deux légumineuses d'intérêts écologiques. Nos travaux ont montré un effet positif de *S. robustus* sur la germination de *V. seyal*, la survie de *P. juliflora* et le taux de mycorhization des deux légumineuses qui pourrait s'expliquer par sa capacité à diminuer la salinité des sols par accumulation de Na et à synthétiser la proline pour l'ajustement osmotique. La graminée a également stimulé le potentiel mycorhizogène et maintenu le potentiel rhizobien des sols rhizosphériques des deux légumineuses. Les rhizobia isolés des racines des légumineuses et de la graminée sont apparentés aux genres *Mesorhizobium*, *Ensifer*, *Rhizobium* et *Burkholderia*, et ont été structurés par la salinité et la saison. Les CMA ont été identifiés à 20 genres, en majorité des Glomeraceae, dont 8 (*Glomus*, *Rhizophagus*, *Sclerocystis*, *Incertae-sedis*, *Redeckera*, *Acaulospora*, et *Paraglomus* et *Ambispora*) ont été structurés par la salinité. Nos résultats suggèrent que *S. robustus* diminue la salinité des sols et héberge dans sa rhizosphère des rhizobia et CMA potentiellement bénéfiques aux deux légumineuses. *S. robustus* serait une plante facilitatrice de la germination et de l'établissement des deux légumineuses dans des sols salés au Sénégal

Le génome de mil décrypté

Le génome de référence du mil (*Pennisetum glaucum glaucum*, variété Tift 23D2B1-P5) a été produit à partir du séquençage de 963 accessions de mil cultivé et 31 individus hétérozygotes sauvages représentant toute sa diversité. La taille de son génome est de 1,7Gb, 90% de séquences ont été utilisées pour son assemblage et 38 579 gènes codant dont 29 344 (76,6%) annotés (Varshney et al, 2017, Nat. Biotech.). Une comparaison du génome de mil avec plusieurs autres graminées indique une histoire de nombreux réarrangements chromosomiques.

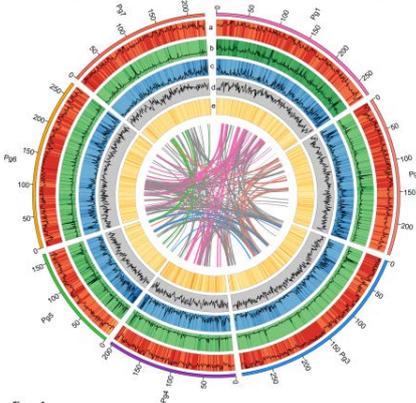


Figure 4: Caractéristiques du génome du mil en synténie avec d'autres génomes de céréales. Représentation des 7 groupes de chromosomes en intervalles de 1 Mb. D'après Varshney et al, 2017, Nat. Biotech.

Les hapmaps pour certaines régions génomiques ont permis d'identifier des allèles rares et potentiellement intéressants pour l'amélioration des traits agronomiques d'intérêt. Des SNP / régions génomiques communs pour le rendement des céréales et le rendement des fourrages ont été identifiés, offrant la possibilité d'utiliser ces marqueurs génétiques pour l'amélioration à la fois du grain et du rendement du mil. Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension de la base génétique de la tolérance exceptionnelle à la chaleur et l'adaptation aux sols peu fertiles du mil et ouvrent la voie à l'utilisation de la génomique pour l'amélioration de cette espèce orpheline.

Diversité du mil cultivé au Sénégal

Le mil, aliment de base pour des millions de populations d'Afrique et d'Asie, a été domestiqué dans la partie centrale du Sahel il y a 4500 années. Plus récemment, il a dû s'adapter aux variations environnementales et surtout aux longues périodes de sécheresse des années 1970 et 1980, entraînant la sélection de variétés améliorées à cycles courts à partir d'une diversité génétique limitée d'accessions locales à cycle de floraison précoce. Au Sénégal, l'évaluation de la diversité génétique et la structure de la population variétés locales de mil cultivé à l'aide de marqueurs SSR ont mis évidence une grande diversité génétique et un potentiel inexploité du germplasm, avec deux groupes distingués par la différenciation entre les accessions locales à floraison précoce et celles à floraison tardive. En outre, une différence génétique et une co-variation allélique dans les gènes liés à l'adaptation, PgPHYC et PgMADS11, ont été trouvées chez ces accessions locales. Ces résultats donnent de nouvelles options d'amélioration de nouveaux cultivars à partir de sélection de groupes hétérotiques ou le développement de variétés synthétiques et hybrides productives et adaptées aux environnements semi-arides sévères (Diack et al, 2017). Un travail similaire est en cours sur le fonio, une céréale orpheline qui joue un rôle important pour la sécurité alimentaire.

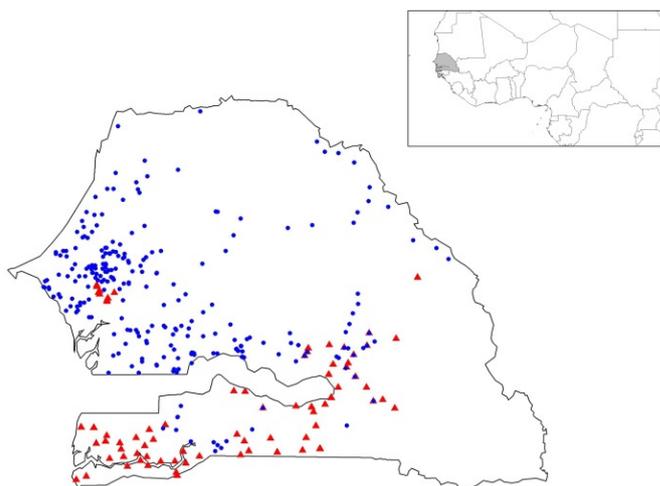


Figure 5: Localisation des 367 accessions de mil étudiées. Les variétés à cycle court (souna) et à cycle long (sanio) sont représentées respectivement par des cercles bleus et des triangles rouges. D'après Diack et al, *Front. Plant Sci.*, 2017.

Adaptation du mil sauvage aux contraintes environnementales

Les apparentés sauvages des espèces cultivées sont considérés comme des réservoirs de diversité importants et utiles pour le compartiment cultivé. Soumis à des pressions de sélections naturelles fortes, ils ont souvent été utilisés dans des programmes d'amélioration pour apporter des traits de résistances. Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés au mil sauvage *Pennisetum glaucum monodii*, dont l'aire de



distribution se trouve au nord de l'aire de culture du mil dans des climats plus arides. Grâce aux outils de séquençage haut-débit, nous avons comparé la diversité génomique de quatre populations distribuées à chaque extrémité de deux gradients d'aridité. En combinant plusieurs approches de détection de sélection, nous avons pu identifier, par au moins une des méthodes utilisées, 540 régions génomiques potentiellement liées à des adaptations (Berthouly-Salazar et al. 2016). Il est généralement admis que le polymorphisme adaptatif se trouve plus favorablement dans des régions cis régulatrices, ces régions ayant moins d'effets pléiotropiques délétères. Nos résultats montrent que ce n'est pas le cas chez le mil sauvage (Rhoné et al. 2017). Parmi les 540 régions identifiées, certaines ont été génotypées chez 11 nouvelles populations distribuées le long des gradients et également utilisées dans des approches de génétique d'association. Ceci a permis d'identifier trois régions d'intérêt majeur validées par plusieurs approches : une région homologue pour un gène « cinnamoyl-CoA-like » impliqué dans la fabrication de la lignine et des réponses à des stress abiotiques ; une région impliquant un gène lié dans le transport de potassium (KAE-3 potassium efflux) pouvant jouer un rôle dans la photosynthèse, et une région portant le gène de la Myosin XI. Cette région a été associée à une réduction du nombre de fleur chez le mil sauvage (Ousseini et al. 2016) et a notamment été sélectionnée pendant le processus de domestication (Varshney et al. soumis). Ces études montrent tout l'intérêt d'étudier les apparentés sauvages des plantes cultivées afin de mieux comprendre les processus évolutifs et le potentiel adaptatif.

Réponse du riz à l'inoculation par des champignons mycorhiziens au champ

Le riz occupe une place centrale dans l'alimentation en Afrique de l'Ouest mais la riziculture locale ne parvient pas à couvrir tous les besoins et l'importation du riz a un coût important pour les économies d'Afrique de l'Ouest. Une stratégie potentielle pour augmenter de façon durable la production rizicole est basée sur l'utilisation de biofertilisants pour augmenter la productivité tout en diminuant l'utilisation d'intrants chimiques. Nous avons évalué les réponses de 8 variétés de riz correspondant à différentes écologies (riz irrigué, bas fond et pluvial) à l'inoculation avec des champignons mycorhiziens à arbuscules au laboratoire et au champ sur 2 années consécutives. La réponse observée était corrélée à l'écologie des plantes. Ainsi, les variétés de riz pluvial ont montré les réponses les plus fortes à l'inoculation en particulier en terme de rendement, d'index de récolte et de fertilité (Diedhiou et al, 2016). Ces travaux ouvrent la voie à l'utilisation de biofertilisants pour augmenter de façon durable la production rizicole en Afrique de l'Ouest

4.2 Bilan et évolution

Sur l'ensemble du mandat du LAPSE l'ensemble des travaux de recherche du LMI a fait l'objet de 57 publications dans des journaux à comité de lecture (voir liste complète des publications en **annexe 2**) avec une augmentation régulière du nombre de publications tous les ans depuis 2013.

Par ailleurs, il y a eu une **évolution notable de thématiques recherches depuis 2011**. Alors que le projet initial faisait une part importante aux recherches sur des arbres et sur la réhabilitation des sols, plusieurs équipes ont réorienté en cours de



mandat leurs activités vers les céréales sèches, le riz et les légumineuses alimentaires (niébé et arachide). Cette évolution est à mettre en rapport avec

1) la définition de nouvelles priorités pour la recherche agricole sénégalaise dans le cadre du plan Sénégal émergent (ciblant en priorité l'autonomie alimentaire du Sénégal),

2) la politique régionale dans le cadre du PPAO pour laquelle le Sénégal coordonnait les recherches sur les céréales sèches et cultures associées.

Cette évolution très forte est à la base du projet de renouvellement du LAPSE qui fait l'objet d'une description détaillée dans le dossier Perspectives.

5. Activités de formation et résultats

Le LAPSE a contribué au renforcement des capacités au Sénégal et en Afrique de l'Ouest au travers de 1) l'organisation de modules de formation de Master, 2) l'organisation d'ateliers de formation régionaux et 3) la formation par la recherche.

5.1 Enseignements en Master

Le LAPSE a contribué à la création et à l'animation de plusieurs modules de Master à l'UCAD dans des domaines pour lesquels un besoin avait été identifié.

- Module **Culture *in vitro* & cryoconservation des ressources phylogénétiques**, Master 2 Biotechnologies Végétales et Microbiennes (BIOVEM), UCAD. 10h de cours et TD. Responsables : Dr F. Engelmann (IRD) & Pr M.O. Sy (UCAD). Ce module a été proposé en 2012 (présentiel, cours et TD), 2013 et 2014 (cours en visioconférence) mais a dû être arrêté par la suite faute de disponibilité du responsable IRD.
- Module **iPlant** (modélisation des plantes) Master 2 Biomathématique-Bioinformatique, UCAD. 20h de cours et TD. Responsables : Dr M. Lucas (IRD) & Dr L. Laplaze (IRD). Fonctionne depuis 2012 sans interruption.
- Module **Phytopathologie moléculaire**, Master 2 Phytopharmacie et protection des plantes (PPV), UCAD. 20h de cours, 3h de TP. Responsables : Dr A. Champion (IRD) & Dr S. Svistoonoff (IRD). Fonctionne depuis 2012 sans interruption.
- Module **Génomique Végétale**, Master 2 BIOVEM, UCAD. 20h de cours, 3h de TD et 20h de TP. Responsables : Dr L. Laplaze (IRD) et Pr D. Diouf (UCAD). Ce module a été fusionné en 2016 avec le module de génétique des populations.
- Module **Introduction à la génétique des populations**, Master 2 BIOVEM, UCAD. 30h de Cours, 3h de TD et 20h de TP. Responsables : Dr A. Barnaud (IRD) et Dr N. Kane (ISRA). Ce module a été fusionné en 2016 avec le module de génomique végétale.

5.2 Ateliers de formation nationaux et régionaux

- « **Atelier de Formation en Biologie Moléculaire et Génétique Végétale** » du 19 au 28 novembre 2012 à Dakar (Sénégal) au Centre de recherche de Bel Air (IRD/ISRA) et Campus UCAD 2 de l'Université Cheik Anta Diop. Participants : 25 jeunes chercheurs d'Afrique Centrale et de l'Ouest. Organismes : Pr Diaga Diouf (UCAD), Dr Ndjido Kane (ISRA) et Dr Antony Champion (IRD)

Les objectifs spécifiques étaient les suivants: i) revoir les bases théoriques de la biologie moléculaire et de la génétique des populations chez les plantes, ii) acquérir les



techniques majeures en biologie moléculaire et en génétique, et iii) discuter les utilisations potentielles de ces techniques pour la sélection végétale en général et pour les projets de recherche des étudiants impliqués en particulier. Des conférences et des TD/TP ont été dispensés dans les domaines suivants : clonage de gènes, analyse d'expression des gènes, utilisation de marqueurs moléculaires pour caractériser la diversité génétique et pour la cartographie, analyse informatique des données.

- « **1^{ère} Ecole thématique régionale en bioinformatique appliquée à la génomique** » du 4 au 8 novembre 2013 sur le Campus de l'UCAD (Dakar). Participants : 18 jeunes chercheurs d'Afrique Centrale et de l'Ouest. Co-financement avec AIRD, IRD, et Ambassade de France au Sénégal. Organismes : Christine Tranchant-Dubreuil (IRD), Pr Ibrahima Ndoye (UCAD), Alexis Dereeper (IRD), et Dr Laurent Laplaze (IRD).

L'école s'est déroulée sous forme de modules alternant formation pratique et cours fondamentaux; les différents thèmes abordés allaient d'une introduction à la génomique et à la bio-informatique, à la réalisation d'analyse de données de type NGS (Galaxy) en passant par une formation à Linux et à l'utilisation de logiciels sous linux (Blast, logiciels d'alignements, suite EMBOSS, analyse de données NGS).

- « **3^{ème} formation régionale sur la génomique et l'amélioration des plantes** » du 24 novembre au 5 décembre 2014 au CERAAS à Thiès. Participants : 24 jeunes chercheurs d'Afrique de l'Ouest. Co-financement avec IAVAO, WAAPP, ICRISAT, Cirad et IRD. Organismes : Dr Jean-François Rami (Cirad), Dr Daniel Fonckéa (Cirad) et Dr Fred Rattunde (ICRISAT).

Le programme visait apporter un éclairage particulier sur la conduite d'expérimentations de phénotypage à grande échelle et sur l'utilisation des nouvelles technologies de séquençage (NGS). La formation a duré deux semaines et a combiné d'une part des cours théoriques sur les concepts de base pour l'expérimentation à grande échelle, le génotypage et l'analyse génétique et d'autre part des sessions pratiques sur l'utilisation des outils de gestion des données développés par l'Integrated Breeding Platform (IBP), des outils de bioinformatique appliqués au génotypage et des logiciels d'analyse génétique.

- « **Introduction au logiciel R** » au printemps 2015 sur le Campus de Bel Air (Dakar). Participants : 43 participants (8 chercheurs, 22 doctorants, 6 ingénieurs et 7 étudiants en Master). Co-financement avec WAAPP et ANR AfriCrop. Organismes : Dr Cécile Berthouly-Salazar (IRD).

La formation a été organisée autour d'un tronc commun (2 jours) et de 2 jours de spécialisations en trois modules de spécialisation : 1) Génétique des populations ; 2) Cartographie-niche modelling et 3) Modèles d'analyse de variance et modèles mixtes.

- « **Atelier régional SENE BIO 2015** » du 16 au 20 novembre 2015 sur le Campus de Bel Air (Dakar). Participants 18 jeunes chercheurs de la sous-Région. Co-financement avec IAVAO, Cirad, IRD, ISRA, UCAD et AUF. Organismes : Dr Hervé Sanguin (Cirad), Dr Frédéric Mahé (Cirad), Dr Daniel Fonckéa (Cirad), Dr Sergio Svistoonoff (IRD), Dr Saliou Fall (ISRA) et Dr Diégane Diouf (UCAD).

Cet atelier de formation ciblait le domaine de la génomique environnementale et particulièrement les nouveaux outils disponibles pour analyser la diversité microbienne et avait deux objectifs généraux : (i) l'acquisition de nouvelles compétences par les

chercheurs partenaires en Afrique de l'Ouest dans ce domaine et (ii) la constitution d'un réseau collaboratif autour des NTS et de leur application sur des thématiques de recherche prioritaires en Afrique de l'Ouest.



Figure 6 : Participants à la formation SeneBio 2015.

- « **Données de séquençage haut débit : traitements, statistiques et analyses génomiques des populations** » du 26 mai au 3 Juin 2016 au Centre d'Étude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (<http://ceraas.org/>) à Thiès. Participants : 21 participants issus de 8 pays d'Afrique de l'Ouest et Centrale (Benin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Sénégal, Togo) représentant 12 institutions de recherche ouest-africains dont 6 universités. Co-financement avec IAVAO, WAAPP et ANR AfriCrop. Organismes : Dr Cécile Berthouly (IRD), Dr Daniel Foncéka (Cirad) et Dr Ndjido Kane (ISRA).

Bien que les besoins en compétences soient grandissants, l'offre de formation nécessaire à l'analyse des données génomiques est encore très limitée en Afrique de l'Ouest. Les participants ont pu s'initier aux analyses bioinformatiques pour l'utilisation des données issues de séquençage haut-débit, aux approches de génétique des populations et notamment les approches de détection de signaux de sélection et des approches de génétique d'association.

- « **Atelier régional sur les ressources génétiques** » du 7 au 9 Décembre 2016 à Saly. Participants : quarante-deux participants de 8 pays d'Afrique de l'Ouest (Bénin, Côte d'Ivoire, Guinée, France, Mali, Niger, Sénégal, Togo), d'Europe et de Madagascar. Co-financement avec IAVAO, WAAPP, ISRA, UCAD, IRD, Cirad, SEP2D. Organismes : Dr Adeline Barnaud (IRD), Dr Selim Louafi (Cirad), et Dr Ndjido Kane (ISRA).

Différents acteurs (régulateurs/administratifs, chercheurs des centres nationaux, instituts de recherche, universitaires, et organisations de la société civile) ont bénéficié de présentations sur l'état des législations internationales et nationales en Afrique de l'Ouest. Partant de leurs expériences concrètes en matière de partenariat et de projets de recherche passés ou en cours, ils ont ensuite discuté des problèmes de mise en œuvre des réglementations sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation (APA) dans le contexte de recherches partenariales multi-acteurs et des marges de manœuvre qu'ils pourraient



mobiliser pour discuter de règles partenariales renouvelés qui respectent les cadres internationaux.

- «**Formation Centre de Ressources Biologiques** » prévue à l'automne 2017. Co-financement avec IAVAO, et IRD. Organismes : Dr Cécile Berthouly, et Dr Ndjido Kane (ISRA).

Cette formation vise à accompagner la volonté du gouvernement du Sénégal via l'ISRA de mettre en place une meilleure gestion de ses ressources génétiques via la création de Centres de Ressources Biologiques. Les apprenants seront formés pendant une dizaine de jours par des gestionnaires de CRBs français aux techniques et bonnes pratiques de collecte, conservation et gestion (traçabilité, etc) des ressources biologiques.

5.3 Formation par la recherche

Au cours de ce mandat, 38 thèses ont été réalisées au sein du LAPSE dont 13 ont été soutenues. La liste des étudiants est fournie en **annexe 3**.

Le LMI LAPSE est l'une des 3 plateformes au Sud (LAPSE et IAVAO pour l'Afrique de l'Ouest, LMI RICE pour le Vietnam) pour Projet **CultiVar**: "A coordinated Higher Education cursus in Plant Breeding with international outreach, and operative options for partners in Mediterranean/tropical countries" (Fondation Agropolis, Porteur JC Glaszmann, Budget: 900 000 €). Ce projet étendard vise à développer du matériel pédagogique pour faciliter l'enseignement de l'amélioration des plantes et à former des étudiants du Sud aux techniques de pointes de l'amélioration des plantes. A ce titre 8 étudiants de l'UCAD et de l'Université de Thiès ont bénéficié de la prise en charge de leur formation en Master à Montpellier.

6. Activités d'expertise et de valorisation

Diffusion de la recherche

Des chercheurs du LAPSE participent depuis 2014 aux journées de la science organisées par l'Institut Français à Dakar en donnant des conférences au grand public. Les équipes du LAPSE reçoivent par ailleurs régulièrement des étudiants de lycée et collège pour des visites et présentation des travaux menés.

Expertise collective

Plusieurs chercheurs du LAPSE ont participé (sous la Direction du Dr Laurent Vidal, représentant IRD au Sénégal) à une expertise collective pour l'Union Européenne portant sur l'état des connaissances scientifiques sur les grands enjeux du développement et les scénarios d'évolution pour le Sénégal. Leur contribution a porté plus particulièrement sur l'agriculture (contribution dont le Pr Ibrahima NDOYE était co-coordonateur). Cette étude prospective visait à informer les futures politiques de soutien de l'UE au Sénégal et a été financée par l'Union Européenne (Projet 23-289S). Elle a donné lieu à un rapport de 117 pages soumis en mai 2016.

Fiches techniques

Les fiches techniques sont des publications de vulgarisation de pratiques nouvelles basées sur la recherche destinées aux acteurs de l'agriculture au Sénégal.

Diagne N, Djighaly PI, Ngom M, Svistoonoff S, Sarr A, Ndour B, Champion A, Laplaze L (2015). Le filao : un arbre pour réhabiliter les terres dégradées par le sel. ISRA ISSN : 0850 -9980. Vol 11, N° 3.

Fall S, Wade TK, Ndour YB (2013) Nouvelle approche de test de nodulation en tube Gibson des plantes oléagineuses : cas de *Arachis hypogea* (Arachide). ISRA ISSN : 0850 -9980.

Ngom M, Diagne N, Djighaly, Faye M, Svistoonoff S, Laplaze L, Ouréye Sy MO, Champion A (2015). Amélioration de la fixation d'azote chez les Casuarinaceae avec le broyat de nodules. ISRA ISSN : 0850 -9980. Vol 11, N° 4.

Système de gestion et de partage de l'information relative aux ressources génétiques

Le site internet GENEDIV (www.genediv.com) a été créé en septembre 2015 pour faciliter la gestion des ressources phytogénétiques au Sénégal et la diffusion de ces données. GENEDIV intègre une base de données interactive contenant des informations génétiques, morphologiques et ethnobotaniques sur les céréales africaines. GENEDIV a été développé avec les derniers codes et technologies pour garantir la qualité et la traçabilité des données tout en étant le plus facile d'accès possible. Ce site est un maillon essentiel visant à une gestion et exploitation raisonnée des ressources génétiques du Sénégal.

Réhabilitation des sols dégradés

Le LAPSE a contribué à plusieurs programmes de réhabilitation des sols dégradés et en particulier 1) à l'installation de cultures d'arbres fruitiers (jajubier, ...) dans le Nord du Sénégal dans le cadre du projet de Grande Muraille Verte et 2) à la réhabilitation des sols salés dans le Sine et Saloum par l'utilisation d'arbres fixateurs d'azote (*Acacias*, *Casuarinaceae*), de graminées fourragères (*Sporobolus* sp.) et l'application de coques d'arachides. Ces travaux ont fait l'objet d'essais participatifs avec des communautés rurales et permettent de proposer plusieurs stratégies de réhabilitation des sols dégradés. Ces méthodes ne sont cependant pas mises en place à grande échelle pour l'instant faute de financement et d'impulsion par les autorités nationales et locales.



Figure 7 : Mise en place d'un essai de reforestation de sols salés avec des *Casuarinaceae* dans la communauté rurale de Palmarin.



Production de biofertilisants

L'inoculation par des microorganismes symbiotiques sélectionnés (champignons mycorhiziens à arbuscules, bactéries fixatrices d'azotes, bactéries PGPR) permet dans de nombreux cas d'augmenter la productivité et la résilience des cultures face aux stress abiotiques. Les travaux du LAPSE (et en particulier du LCM) ont mis en évidence l'efficacité de cette technologie sur plusieurs cultures majeures au Sénégal (niébé, sorgho, riz, fonio, blé, ...). De plus, un travail réalisé dans le cadre du LCM (avant la mise en place du LAPSE) a montré que cette technologie était tout à fait acceptée par les agriculteurs et qu'il y avait une demande pour ce type de produit (biofertilisant). Malgré tous ces éléments et le fait que cette technologie soit utilisée dans d'autres régions du Monde depuis de nombreuses années, aucun fournisseur de biofertilisant fiable n'existe actuellement au Sénégal. Plusieurs initiatives avaient été lancées (parfois depuis plusieurs années) par différentes équipes du LAPSE (LCM et LBC) pour développer une unité de production d'inoculum mais aucune n'a véritablement abouti à ce jour

Fort de ce constat de dispersion et d'avancée limitée de ce dossier, la direction du LAPSE a organisé début 2016 une réunion des différentes équipes du LAPSE impliquées dans ces projets de production d'inoculum. Les différentes initiatives en cours ont été présentées et discutées. A l'issue de cette réunion, un petit groupe constitué du Dr Saliou Fall (ISRA, LCM), du Dr Diégane Diouf (UCAD, LCM et Direction de la Recherche et de l'Innovation UCAD) et du Pr Tahir Diop (UCAD, LBC) a été chargé de proposer des pistes pour faire avancer ce dossier. La réflexion est en cours.

7. Plus-value du LMI et retombées en termes de développement.

Effet structurant

Le LMI LAPSE a tout d'abord eu un effet structurant fort au niveau local et en terme de collaboration France - Sénégal. Cet effet structurant s'est traduit dans un premier temps par la création de plateformes technologiques partagées. Ces plateformes ont permis de bien identifier les équipes vis-à-vis d'une thématique et d'éviter les doublons d'équipement et de recrutement même si des améliorations sont encore possibles.

Le LAPSE a renforcé les partenariats existants entre équipes françaises et sénégalaises et entre équipes sénégalaises. Dans un deuxième temps, l'animation scientifique et l'appel à projets entre équipes ont favorisé de nouvelles interactions et l'émergence de nouvelles activités pluridisciplinaires de recherche et de formation.

Enfin, le LAPSE a permis la création de nouveaux partenariats internationaux. Un accord tripartite entre l'UCAD, l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD, France) et l'Université de Sciences et Technologies d'Hanoï (USTH, Vietnam) visant à favoriser les échanges de chercheurs et enseignants chercheurs entre le LMI LAPSE (Sénégal) et le LMI RICE (Vietnam) a été signé en 2015. Dans ce cadre, le Dr Abdala DIEDHIOU, Maître de Conférences à l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD, Sénégal) a effectué un séjour d'une semaine au sein du LMI RICE à Hanoï (Vietnam) en 2016. Il a pu y présenter ses travaux sur le microbiome racinaire du riz, visiter les installations du LMI RICE et échanger avec les collègues vietnamiens sur les pratiques pour l'intensification durable de la production rizicole. Ces échanges seront amplifiés dans les années à venir.



Effet levier

Tout d'abord, le soutien du LMI aux projets émergents en particulier de jeunes chercheurs des équipes du LMI, a joué un rôle important dans leur succès à des appels à projets compétitif nationaux ou internationaux. Cela s'est traduit par l'obtention de 3 projets FIRST (Fonds d'impulsion pour le recherche scientifique et technique du Ministère de la recherche et de l'enseignement supérieur du Sénégal), d'un projet FIS (Fond International pour la Science) et d'un projet TWAS (The World Academy of Science).

Ensuite, le partenariat créé au sein du LAPSE a permis de répondre à des appels à projets internationaux et d'obtenir 19 projets financés par différents bailleurs (WAAPP, ANR, USAID, DFID, Agropolis, ... ; voir **annexe 4**). L'ensemble représente un budget de 2 380 835,75 €.

Le LAPSE a également pu bénéficier du financement de 12 thèses par la coopération universitaire allemande (DAAD) et de 17 thèses à travers le WAAPP (allocations gérées par l'ISRA).

Renforcement des capacités

Le LMI a eu une très forte activité de renforcement des capacités que ce soit au niveau national par l'organisation de modules de cours en Master ou par l'accueil d'étudiants en Master et en thèse ou au niveau Régional à travers l'organisation d'ateliers de formation.

Le LAPSE a également contribué à l'encadrement d'une trentaine de doctorants bénéficiaires d'allocation de l'IRD (ARTS) de la coopération universitaire allemande (DAAD), ou l'ISRA (à travers le WAAPP). Un certain nombre de ces doctorants ont été recrutés depuis lors (Glato Kodjo - Université de Lomé, Bénin, Sani Saidou - Université de Niamey, Niger par exemple)

Le LAPSE a également financé la participation de jeunes chercheurs des équipes impliquées à des congrès internationaux pour faire connaître leurs travaux et se constituer un réseau pour la suite de leur carrière.



Annexe 1 : Rapport financier et ressources humaines du LMI

Ressources financières

Budget récurrent IRD **231 300 €**
 Financements incitatifs IRD **59 750 €**

Financements ISRA **110 000 €**

Projets

Dépenses (budget récurrent IRD)

Année	Equipement	Animation	Formation	AAP
2012	27 524,14 €	1 671,72 €	3 942,80 €	
2013	12 560,74 €	4 173,30 €	5 539,17 €	18 977,16 €
2014	17 124,04 €	3 775,49 €	7 042,19 €	12 058,28 €
2015	14 838,81 €	4 674,26 €	3 274,18 €	13 143,65 €
2016	14 711,02 €	7 662,65 €	4 357,31 €	10 132,40 €
2017	20 000,00 €	10 000,00 €	10 000,00 €	
<i>(prévu)</i>				
Total	106 758,75 €	31 957,42 €	34 155,65 €	54 311,49 €

Ressources humaines

	IRD		UCAD		ISRA		AfricaRice		Un. de Thiès	
	Effectif	ETP	Effectif	ETP	Effectif	ETP	Effectif	ETP	Effectif	ETP
Chercheurs	16	5,1	9	3,8	12	3,35	3	0,7	1	0,1
ITA	9	5,4	1	0,4	4	2				
TOTAL	25	10,5	10	4,2	16	5,35	3	0,7	1	0,1



Annexe 2 : Productions du LMI

2017

- Varshney R. et al. 2017. Pearl millet genome sequence provides a resource to improve agronomic traits in arid environments. *Nature Biotech.*, sous presse.
- Glato K, Aidam A, Kane N A, Diallo B Couderc M, Zékraoui L, Scarcelli N, Barnaud A, Vigouroux Y. (2017). Structure of sweet potato (*Ipomoea batatas*) diversity in West Africa is partly explained by a climatic gradient. *Plos One*, sous presse.
- Oshone R, Ngom M, Chu F, Mansour S, Sy MO, Champion A, Tisa LS. 2017. A comprehensive genomic, transcriptomic, and proteomic approach towards understanding the molecular mechanisms of salt tolerance in *Frankia* strains isolated from *Casuarina* trees. *BMC Genomics*, sous presse.
- Diagne N, Swanson E, Pesce C, Fall F, Diouf F, Bakhom N, Fall D, Ndigue Faye M, Oshone R, Simpson S, Morris K, Thomas WK, Moulin L, Diouf D, Tisa LS. 2017. Permanent draft genome sequence of *Rhizobium* sp. strain LCM 4573, a salt-tolerant, nitrogen-fixing bacterium isolated from Senegalese soils. *Genome Announc.* 5:e00285-17.
- Fall F, Diouf D, Fall D, Ndoye I, Ndiaye C, Kane A, Bâ AM. 2017. Growth and physiological responses of *Sporobolus robustus* Kunth seedlings to salt stress. *Arid Land Research and Management* 31 (1), 46-56.
- Rhoné B., Mariac C., Couderc M., Berthouly-Salazar C., Salia Ousseini I., Vigouroux Y. 2017. No excess of cis-regulatory variation associated with intra-specific selection in wild pearl millet (*Cenchrus americanus*). *Genome Biol Evol.* 9:388-397.
- Ousseini IS, Bakasso Y, Kane NA, Couderc M, Zekraoui L, Mariac C, Manicacci D, Rhoné B, Barnaud A, Berthouly-Salazar C, Assoumane A, Moussa D, Moussa T, Vigouroux Y. 2017. Myosin XI is associated with fitness and adaptation to aridity in wild pearl millet. *Heredity*, sous presse.
- Diack O, Kane NA, Berthouly-Salazar C, Gueye MC, Diop BM, Fofana A, Sy O, Tall H, Zekraoui L, Piquet M, Couderc M, Vigouroux Y, Diouf D and Barnaud A. 2017. New Genetic Insights into Pearl Millet Diversity As Revealed by Characterization of Early- and Late-Flowering Landraces from Senegal. *Front. Plant Sci.* 8:818.
- Diagne N, Swanson E, Pesce C, Fall F, Diouf F, Bakhom N, Fall D, Ndigue Faye M, Oshone R, Simpson S, Morris K, Thomas WK, Moulin L, Diouf D, Tisa LS. 2017. Permanent Draft Genome Sequence of *Rhizobium* sp. Strain LCM 4573, a Salt-Tolerant, Nitrogen-Fixing Bacterium Isolated from Senegalese Soils. *Genome Announc.* 4;5(18). pii: e00285-17.
- Diagne N, Swanson E, Pesce C, Fall F, Diouf F, Bakhom N, Fall D, Ndigue Faye M, Oshone R, Simpson S, Morris K, Thomas WK, Moulin L, Diouf D, Tisa LS. 2017. Permanent Draft Genome Sequence of *Ensifer* sp. Strain LCM 4579, a Salt-Tolerant, Nitrogen-Fixing Bacterium Isolated from Senegalese Soil. *Genome Announc.* 6;5(14). pii: e00117-17.
- Thioye B, de Faria SM, Kane A, Ndiaye C, Soule OA, Fall D, Duponnois R, Sylla SN, Bâ A. 2017. Growth response of different species of *Ziziphus* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Fruits* 72:174-181



2016

- Ngom, A., Mbaye, M. S., Barnaud, A., Kane, A., Ba, N., Gueye, M., et al. 2016. Révision du genre *Digitaria* Haller (Poaceae) au Sénégal: proposition d'une clé de détermination pour une meilleure identification des espèces. ***International Journal of Biological and Chemical Sciences*** 10(1), 58-86.
- Fall D, Bakhoun N, Fall F, Diouf F, Ly MO, Diouf M, Hocher V, Diouf D (2016). Germination, growth and physiological responses of *Senegalia senegal* (L.) Britton, *Vachellia seyal* (Delile) P. Hurter and *Prosopis juliflora* (Swartz) DC to salinity stress in greenhouse conditions. ***African Journal of Biotechnology*** 15(37): 2017-2027.
- Fall D, Bakhoun N, Sall SN, Zoubeirou AM, Sylla SN, Diouf D. 2016. Rhizobial inoculation increases soil microbial functioning and gum arabic production of 13-years old *Senegalia senegal* (L.) Britton, trees in the North part of Senegal. ***Front. Plant Sci.*** 7:1355.
- Bakhoun N, Odee DW, Fall D, Ndoye F, Kane A, Kimiti JM, Zoubeirou AM, Sylla SN, Noba K, Diouf D 2016. *Senegalia senegal* response to inoculation with rhizobial strains vary in relation to seed provenance and soil type. ***Plant and Soil*** 398: 181-193.
- Ndoye, F., Diedhiou, A. G., Gueye, M., Fall, D., Barnaud, A., Sy, M. O., et al. 2016. Réponse du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf) à l'inoculation avec des champignons mycorhiziens à arbuscules en conditions semi-contrôlées. ***Journal of Applied Biosciences*** 103(1): 9784-9799.
- Berthouly-Salazar, C., Thuillet, A. C., Rhoné, B., Mariac, C., Ousseini, I. S., Couderc, M., ... & Vigouroux, Y. 2016. Genome scan reveals selection acting on genes linked to stress response in wild pearl millet. ***Molecular Ecology*** 25(21), 5500-5512.
- Hanin M., Ebel C., Ngom M., Laplaze L., and Masmoudi M. 2016. New Insights on plant salt tolerance mechanisms and their potential use for breeding. ***Front. Plant Sci.*** 7:1787.
- Diedhiou A.G., Mbaye F.K., Mbodj D., Ndigue Faye M, Pignoly S., Ndoye I., Djaman K., Gaye S., Kane A., Laplaze L., Manneh B., and Champion A. 2016. Field trials reveal ecotype-specific responses to mycorrhizal inoculation in rice. ***PLoS One*** 11(12): e0167014.
- Cacas JL, Pré M, Pizot M, Cissoko M, Diedhiou I, Jalloul A, Doumas P, Nicole M, Champion A. 2016. GhERF-IIb3 regulates the accumulation of jasmonate and leads to enhanced cotton resistance to blight disease. ***Mol. Plant Pathol.*** doi: 10.1111/mpp.12445.
- Ngom M., Gray K., Diagne N., Oshone R., Fardoux J., Gherbi H., Hocher V., Svistoonoff S., Laplaze L., Tisa L., Sy M.O. and Champion A. 2016. Symbiotic performance of diverse *Frankia* strains on salt-stressed *Casuarina glauca* and *Casuarina equisetifolia* plants. ***Front. Plant Sci.*** 7:1331
- Selvakesavan R. K., Dhanya N. N., Thushara P., Abraham S. M., Jayaraj R. S. C., Balasubramanian A., Deeparaj B., Sudha S., Sowmiya Rani K. S., Bachpai V. K. W., Ganesh D., Diagne N., Laplaze L., Gherbi H., Svistoonoff S., Hocher V., Franche C., Bogusz D., Nambiar-Veetil M. 2016. Intraspecies variation in sodium partitioning, potassium and proline accumulation under salt stress in *Casuarina equisetifolia* Forst. ***Symbiosis***, 70: 117-127.
- Passot S, Gnacko F, Moukouanga D, Lucas M, Guyomarc'h M, Moreno Ortega B, Atkinson J, Niang M, Bennett M, Gantet P, Wells D.M., Guédon Y, Vigouroux Y, Verdeil J-L, Muller



- B and Laplaze L. 2016. Characterization of pearl millet root architecture and anatomy reveals three types of lateral roots. **Front. Plant Sci.** 7:829.
- Chabaud M, Gherbi H, Pirolles E, Vaissayre V, Fournier J, Moukouanga D, Franche C, Bogusz D, Tisa LS, Barker DG, Svistoonoff S. 2016. Chitinase-resistant hydrophilic symbiotic factors secreted by *Frankia* activate both Ca(2+) spiking and NIN gene expression in the actinorhizal plant *Casuarina glauca*. **New Phytol.** 209(1):86-93.
- Lavenus J., Guyomarc'h S., Laplaze L. 2016. PIN transcriptional regulation shapes root system architecture. **Trends in Plant Sciences** 21: 175-177.
- Ngom M., Diagne N., Laplaze L., Champion A., Sy M.O. 2016. Symbiotic ability of diverse *Frankia* strains on *Casuarina glauca* plants in hydroponic conditions. **Symbiosis**, 70: 79-86.
- Ngom M., Oshone R., Diagne N., Cissoko M., Svistoonoff S., Tisa L., Laplaze L., Sy M.O. and Champion A. 2016. Tolerance to environmental stress by the nitrogen-fixing actinobacterium *Frankia* and its role in actinorhizal plants adaptation. **Symbiosis**, 70: 17-29.
- Oshone R, Ngom M, Abebe-Akele F, Simpson S, Morris K, Sy MO, Champion A, Thomas W, Tisa L. 2016. Permanent Draft Genome Sequences for *Frankia* sp. Strain Allo2, a Salt-Tolerant Nitrogen-Fixing Actinobacterium Isolated from the Root Nodules of *Allocasuarina*. **Genome Announc.** 4(3).
- Ngom M, Oshone R, Hurst SG 4th, Abebe-Akele F, Simpson S, Morris K, Sy MO, Champion A, Thomas WK, Tisa LS. 2016. Permanent Draft Genome Sequence for *Frankia* sp. Strain CeD , a Nitrogen-Fixing Actinobacterium Isolated from the Root Nodules of *Casuarina equisetifolia* Grown in Senegal. **Genome Announc.** 4(2).
- Soumare A, Sall SN, Sanon A, Cissoko M, Hafidi M, Ndoeye I, Duponnois R. 2016. Changes in soil pH, polyphenols content and microbial community mediated by *Eucalyptus camaldulensis*. **Applied Ecology and Environmental Research** 14(3), 1-19

2015

- Fall F, Diouf D, Fall D, Ndoeye I, Ndiaye C, Kane A, Bâ AM. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on growth, and nutrient uptake of the two grass species, *Leptochloa fusca* (L.) Stapf and *Sporobolus robustus* Kunth, under greenhouse conditions. **African Journal of Biotechnology** 4: 2770-2776.
- Soumare A, Diop T, Manga A, Ndoeye I. 2015. Role of arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen fixing bacteria on legume growth under various environmental stresses. **International Journal of Biosciences** 7: 31-46.
- Sy O, Fofana A, Cisse N, Noba K, Diouf D, Ndoeye I, Sane D, Kane A, Kane ND, Hash CT, Haussman B, and Elwegan E. 2015. Étude de la variabilité agromorphologique de la collection nationale de mils locaux du Sénégal. **Journal of Applied Biosciences** 87: 8030-8046.
- Jalloul A, Sayegh M, Champion A, Nicole M. 2015. Bacterial blight of cotton. **Phytopathologia Mediterranea** 54: 3-20.
- Clavijo F, Diedhiou I, Vaissayre V, Brottier L, Acolatse J, Moukouanga D, Crabos A, Auguy F, Franche C, Gherbi H, Champion A, Hocher V, Barker D, Bogusz D, Tisa L, Svistoonoff, S. 2015. The *Casuarina* NIN gene is transcriptionally activated



- throughout *Frankia* root infection as well as in response to bacterial diffusible signals. ***New Phytol.*** 208:3887-903.
- Laplaze L., Lucas M., Champion A. 2015. Rhizobial root hair infection requires auxin signaling. ***Trends in Plant Sciences***, 20: 332-334.
- Larrieu A., Champion A., Legrand J., Lavenus J., Mast D., Brunoud G., Oh J., Guyomarc'h S., Pizot M., Farmer E.E., Turnbull C., Vernoux T., Bennett M.J., Laplaze L. 2015. A fluorescent hormone biosensor reveals the dynamics of jasmonate signalling in plants. ***Nature Communications*** 6: 6043.
- Fahr M., Laplaze L., El Mzibri M., Dumas P., Bendaou N., Hocher V., Bogusz D. and Smouni A. 2015. Lead tolerance and accumulation in metallicolous and non-metallicolous populations of *Hirschfeldia incana*. ***Experimental & Environmental Botany*** 109:186-192.
- Diouf F., Diouf D, Klonowska A., Le Queré A., Bakhoun N., Fall D., Neyra M., Parrinello H., Diouf M., Ndoye I., Moulin L. 2015. Genetic and genomic diversity studies of *Acacia* symbionts in Senegal reveal new species of *Mesorhizobium* with a putative geographical pattern. ***Plos One*** 10(2):e0117667.
- Champion A., Lucas M., Tromas A., Vaissayre V., Crabos A., Diédhiou I., Prodjimoto H., Moukouanga D., Pirolles E., Cissoko M., Bonneau J., Gherbi H., Franche C., Hocher V., Svistoonoff S. and Laplaze L. 2015. Inhibition of auxin signaling in *Frankia* -infected cells in *Casuarina glauca* nodules leads to increased nodulation. ***Plant Physiology*** 167: 1149-1157.
- Ndoye F, Kane A, Diedhiou AG, Bakhoun N, Fall D, Sadio O, Sy MO, Noba K, **Diouf D** (2015). Effects of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia on *Acacia senegal* (L.) Willd. seedling growth and soil enzyme activities in senegal. ***International Journal of Biosciences*** 6 (2), 36-48.
- Bakhoun N, Galiana A, Le Roux C, Kane A, Duponnois R, Ndoye F, Fall D, Noba K, Sylla SN, Diouf D (2015). Phylogeny of nodulation genes and symbiotic diversity of *Acacia senegal* (L.) Willd. and *A. seyal* (Del.) *Mesorhizobium* strains from different regions of Senegal. ***Microbial Ecology*** 69 (3), 641–651.
- Séne S, Avril R, Chaintreuil C, Geoffroy A, Ndiaye C, Diédhiou AG, Sadio O, Courtecuisse R, Sylla SN, Selosse MA & Bâ AM (2015). Ectomycorrhizal fungal communities of *Coccoloba uvifera* (L.) L. mature trees and seedlings in the neotropical coastal forests of Guadeloupe (Lesser Antilles). ***Mycorrhiza*** 25: 547-559.

2014

- Bakhoun N, Le Roux C, Diouf D, Kane A, Ndoye F, Fall D, Duponnois R, Noba K, Galiana A. (2014) Distribution and diversity of rhizobial populations from Senegalese arid and semi-arid zones associated to different *Acacia senegal* (L.) Willd. provenances. ***Open Journal of Forestry*** 4: 136-143.
- Diédhiou I., Tromas A., Cissoko M., Gray K., Parizot B., Crabos A., Alloisio N., Fournier P., Carro L., Svistoonoff S., Gherbi H., Hocher V., Diouf D., Laplaze L. and Champion A. 2014. Identification of potential transcriptional regulators of actinorhizal symbioses in *Casuarina glauca* and *Alnus glutinosa*. ***BMC Plant Biology*** 14: 342.
- Ahmadi N., Audebert A., Bennett M.J., Bishopp A., Costa de Oliveira A., Courtois B., Diedhiou A., Diévar A., Gantet P., Ghesquière A., Guiderdoni E., Henry A., Inukai Y.,



- Kochian L., Laplaze L., Lucas M., Luu D.T., Manneh B., Mo X., Muthurajan R., Périn C., Price A., Robin S., Sentenac H., Sine B, Uga Y., Véry A.A., Wissuwa M., Wu P., Xu J. 2014. The roots of future rice harvests. **Rice** 7: 29.
- S. Idi Saidou, Y. Bakasso, M. M. Inoussa., M. Zaman-Allah, A. Sanoussi, A. Barnaud, M. Saadou, C. Billot. 2014. Diversité agro-morphologique des accessions de Fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] au Niger. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, 8(4): 111407.
- B. Ouattara, K. N. Ndir, M. C. Gueye, I. Diédhiou, A. Barnaud, D. Fonceka, N. Cissé, E. L. Akpo, D. Diouf. 2014. Genetic diversity of *Jatropha curcas* L. in Senegal compared with exotic accessions based on microsatellite markers. **Genetic Resources and Crop Evolution** 2014, 61(6): 1039-1045.
- Soumare A., Manga A., Fall S., Hafidi M., Ndoye I., and Duponnois R. 2014. Effect of *Eucalyptus camaldulensis* amendment on soil chemical properties, enzymatic activity, *Acacia* species growth and roots symbioses. **Agroforest Syst.** 89: 97-106.
- Imanishi L., Perrine-Walker F., Ndour A., Vayssieres A., Conejero G., Lucas M., Champion A., Laplaze L., Wall L. and Svistoonoff S. 2013. Role of auxin during intercellular infection of *Discaria trinervis* by *Frankia*. **Front. Plant Sci.** 5:399.
- Mariac C, Scarcelli N, Pouzadou J, Barnaud A, Billot C, Faye A, Kougbéadjou A, Maillol V, Martin G, Sabot F, Santoni S, Vigouroux Y, Couvreur TL. 2014. Cost-effective enrichment hybridization capture of chloroplast genomes at deep multiplexing levels for population genetics and phylogeography studies. **Mol. Ecol. Resour.** 14(6): 1103–1113.

2013

- Soumare A., Diop T., Lahcen O., Bassene G. , Duponnois R., and Ndoye I. 2013. Impact de *Eucalyptus camaldulensis* sur la diversité des rhizobiums associés à *Acacia senegal* et *A. seyal* au Sénégal. **Journal of Applied Biosciences** 67:5183– 5193.
- Diagne N., Arumugam K., Ngom M., Nambiar-Veetil M., Franche C., Narayanan K.K., and Laplaze L. 2013. Use of *Frankia* and actinorhizal plants for degraded lands reclamation. **BioMed Research International** 2013: 948258.
- Thiam M., Champion A., Diouf D., and SY M.O. 2013. NaCl Effects on In Vitro Germination and Growth of Some Senegalese Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Cultivars. **ISRN Biotechnology** Article ID 382417.
- Fahr M., Laplaze L., Bendaou N., Hocher V., El Mzibri M., Bogusz D. and Smouni A. 2013. Effect of lead on root growth. **Front. Plant Sci.** 4:175.
- Auguy F., Fahr M., Moulin P., Brugel A., Laplaze L., El Mzibri M., Filali-Maltouf A., Dumas P. and Smouni A. 2013. Lead tolerance and accumulation in *Hirschfeldia incana*, a Mediterranean *Brassicaceae* from metalliferous mine spoils. **PLoS One** 8(5): e61932.
- Wells D.M., Laplaze L., Bennett M., and Vernoux T. 2013. Biosensors for phytohormone quantification: challenges, solutions and opportunities. **Trends in Plant Sciences** 18(5): 244-249.

Annexe 3 : Etudiants en thèse

Nom	Nationalité	Université d'inscription	Direction	Financements	Dates
1. F. Diouf	Sénégal	UCAD	D. Diouf, L. Moulin	IRD, MESR, WAAP	2012-2015
2. H. Prodjinoto	Bénin	UCAD	I. Ndoye, L. Laplaze	IRD	2012-arrêt
3. I. Diedhiou	Sénégal	UCAD	D. Diouf, A. Champion	IRD	2012-2015
4. O. Diack	Sénégal	UCAD	D. Diouf, N. A. Kane	WAAPP	2013-2017
5. M. Ngom	Sénégal	UCAD	M.O. Sy, A. Champion	MESR, IRD, WFS, USAID-ERA, AUF	2012-2016
6. A. Ndour	Sénégal	UCAD	I. Ndoye, L. Laplaze	IRD	2013-2017
7. F.K. Mbaye	Sénégal	UCAD	I. Ndoye,, A. Champion		2013-arrêt
8. M.T. Mofini	République Centrafricaine	UCAD	A. Kane, L. Laplaze	DAAD	2016-2019
9. A. Faye	Sénégal	UCAD	A. Kane, D. Min, L. Laplaze	ISRA	2016-2019
10. D. Tchouomo	Cameroun	UCAD	A. Kane, A. Diedhiou, L. Laplaze	DAAD	2017-2019
11. K. Olodo	Bénin	UCAD	Y. Vigouroux, D. Diouf, C. Berthouly	DAAD	2016-2019
12. P. I. Djighaly	Sénégal	UASZ	S. Svistoonoff, D. Ngom, J.Farrant, N.Diagne	IRD	2015-2018
13. I. S. Ousseini	Niger	Montpellier	N Kane, Y Bakasso, Y Vigouroux	IRD	2012-2015
14. G. Kodjo	Togo	Univ. Togo	Aidam	IRD/Agropolis Fondation	2012-2015
15. S. Diatta	Sénégal	UCAD	H. Founoune D. Diouf	USAID / PEER , MESR	2014-2017
16. B. Thioye	Sénégal	UCAD/Univ. Antilles	A. BA, S. N. Sylla	AUF, WAAPP/ISRA, SCAC	2014-2017
17. F. Fall	Sénégal	UCAD	D. Diouf, Amadou Ba	FIRST, SCAC, WAAP, MESR, USAID, WFS	2013-2016
18. D. Fall	Sénégal	UCAD	D. Diouf, V. Hocher	IRD, FIRST	2013-2016
19. C. Gnacadja	Benin	UAC	P. Azokpota (UAC), S. Sall (UGB)	AGRYMAP	2016-2019
20. A. Zaiya Zazou	Cameroun	UCAD	D. Diouf, S. Fall, S. Svistoonoff, D. Fonckea	DAAD, WAAP, Avril	2015-2018
21. M. Cissoko	Sénégal	UCAD	M. O. Sy, S. Svistoonoff	IRD, USDA	2015-2018
22. D. Mbodj	Sénégal	UCAD	A. Kane, A.G. Diedhiou, A. Champion, L. Laplaze, B. Manneh	FIRST	2016-2019

23. S. Sène	Sénégal	UCAD	Amadou Ba, Samba N. Sylla	FIRST, SCAC, MESR, WFS	2011-2015
24. C. V. Nadieline	Sénégal	UCAD	M. F. Ndiaye Cissé, D. Diouf, S. Fall, T. Wade	WAAPP	
25. H. Hissene	Tchad	UCAD	Cissé N., Vadez V.	DAAD	2013-2016
26. J.R. NGuepjop	Cameroun	UCAD	D. Fonceka	DAAD	2013-2016
27. B. Ouattara	Burkina Faso	UCAD	I. Diehdiou	DAAD	2011-2014
28. T. Tovignan	Bénin	UCAD	N. Cissé, D. Luquet	DAAD	2012-2015
29. C. Diatta	Sénégal	WACCI	N. Cissé	WAAPP	2013-2017
30. A. Sambou	Sénégal	WACCI	D. Fonceka	WAAPP	2014-2018
31. G. Kanfany	Sénégal	WACCI	N. Cissé	WAAPP	2014-2018
32. B.M. Diop	Sénégal	UCAD	M.C. Guèye, C. Billot, A. Barnaud	WAAPP	2014-2017
33. K.K. Ganyo	Togo	UCAD	B. Muller, M. Adam	DAAD	2015-2018
34. D. Komivi	Bénin	UCAD	D. Diouf, N. Cissé	DAAD	2015-2018
35. A. Sarr	Sénégal	UCAD	A. Bodian	WAAPP	2015-2018
36. M.A Mmadi	Comores	UCAD	D. Diouf, N. Cissé	DAAD	2016-2019
37. O. Fokou	Cameroun	Dschang	A.A Saidou, H. Joly	DAAD	2016-2019
38. H-A Tossim	Togo	UCAD	D. Fonceka	CERAAS	2016-2019

En jaune les étudiants hors LMI accueillis sur les plateformes LAPSE pour des séjours courts

Annexe 4 : Projets financés

Nom	Dates	Bailleur(s)	Montant total	Montant LAPSE	Porteurs
Combining new phenotyping approaches and next generation sequencing to accelerate breeding in pearl millet, an orphan cereal from arid regions	2014-2017	Fondations Agropolis & Cariplo	562 000€	124 000 €	L. Laplaze F. Sparvoli
Utilisation de la technologie de l'inoculation microbienne pour améliorer la croissance et la productivité de variétés de riz irrigué et de riz pluvial au Sénégal	2014-2017	FIRST, MESR Sénégal	30 000 €	30 000 €	A. Diedhiou
Transcriptome Analysis of Salt Tolerance in Casuarina trees	2012-2013	JGI, DOE (USA)	RNAseq 36 éch.	18 000 €	L. Laplaze
Création d'une population de cartographie du mil et études d'association phénotype/génotype de caractères agromorphologiques	2016-2018	WAAPP	60 000 €	60 000 €	B. Mbacké
Adoption of Sustainable Intensification in Dual-Purpose Millet - Leguminous Crops - Livestock Systems to Improve Food and Nutritional Security and Natural Resources Management for Rural Small Holder Farmers in Senegal	2015-2019	SIIL (USAID)	999 000\$	50000 €	D. Min & O. Sy
Investigating adaptive introgression in African crops	2015-2017	Fondation Agropolis	180 000 €	180 000 €	C. Berthouly
Auto-adaptation des agro-socio-écosystèmes tropicaux face aux changements globaux? Etude à long terme en vue d'une intensification écologique de la production de céréales dans les zones de savanes en Afrique de l'Ouest	2014-2018	ANR	720 000€	42 500 €	Task 2. N Kane et A Barnaud
Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine	2015-2019	NERC/UKAID	5 millions €	300 000 €	WP 3 N. Kane et A. Barnaud
Microbial Ecompatible strategies for Improving wheat agriculture	2014-2017	Fondations Agropolis & Cariplo	520 000€	24 000 €	L. Moulin M. Bracalle
Amélioration de la tolérance au sel des Casuarina par inoculation microbienne pour la réhabilitation des terres dégradées par la salinisation au Sénégal	2015-2018	FIRST	30 469 €	30 469 €	N Diagne
Optimisation du potentiel microbien symbiotique des sols pour améliorer la productivité de plantations ligneuses alimentaires et de cultures vivrières sur le tracé du projet Grande Muraille Verte.	2014-2016	IRD/GMV	51 807 €	51 807 €	A. Kane, A. Bâ
Optimisation des couples Casuarinaceae / Champignons Mycorhiziens Arbusculaires pour la valorisation agrosylvopastorale des écosystèmes dégradés par le sel au Sénégal	2016-2018	FIS	8 312,28 €	8 312,28 €	N. Diagne

Mécanismes moléculaires impliqués dans la tolérance au sel chez <i>Casuarina equisetifolia</i> et <i>Casuarina glauca</i>	2013-2014	TWAS	9 147 €	9 147 €	N. Diagne
Création d'Hybrides expérimentaux de mil par la sélection assistée par marqueurs pour l'augmentation rapide de la production nationale en céréales	2013-2017	WAAPP	115000 €	115000 €	O. Sy
Gestion durable de la biodiversité des mils pénicillaires du Sénégal	2013-2017	WAAPP	112872 €	112872 €	N. Kane
Caractérisation, valorisation et conservation des ressources génétiques du fonio au Sénégal	2013-2017	WAAPP	121959 €	121959 €	M.C Guèye
Sélection assistée par marqueurs pour l'amélioration de la résistance du niébé aux insectes (puçerons thrips) et aux maladies (macrophomina, chancre bactérien)	2013-2017	WAAPP	126228 €	126228 €	N. Cissé
Sélection récurrente assistée par marqueurs (MARS) pour l'amélioration variétale du sorgho en zone semi-aride	2013-2017	WAAPP	126220 €	126 220 €	N. Cissé
Elargissement de la base génétique de l'arachide cultivée par croisements interspécifiques: identification d'allèles nouveaux utilisables en sélection	2013-2017	WAAPP	129124 €	129124 €	D. Fonckea
Compréhension du rôle de l'architecture racinaire en conditions de sécheresse pour une amélioration efficiente du sorgho en zone semi-aride	2013-2017	WAAPP	125000 €	125 000 €	B. Sine
Développement de technologies microbiennes pour la restauration de la fertilité des sols du bassin arachidier et l'augmentation des rendements du mil en rotation avec le sorgho	2013-2017	WAAPP	86896 €	86896 €	M.F Ndiaye Cissé
Gestion durable de la biodiversité du niébé (<i>Vigna Unguiculata</i> L. Walp.) et espèces apparentées au Sénégal	2015-2017	WAAPP	53300€	53300€	A. Bodian
Etude de la tolérance à la sécheresse au jeune âge chez le mil et l'arachide pour l'amélioration de leur productivité au Sénégal	2015-2017	WAAPP	51000€	51000€	A. O. Diallo