

Projets financés en 2007 (Résumés)

N°	Titre long
07001 Achevé	Etude du rôle des protéines BoIA dans l'homéostasie du fer et la synthèse des centres fer-soufre chez <i>Arabidopsis thaliana</i>
07004 Achevé	Reconnaissance automatisée des espèces adventices des rizières de Camargue par les techniques de reconnaissance de contenus visuels
07010 Achevé	Analyse génétique de l'accumulation du Cadmium chez la laitue (<i>Lactuca sativa</i>)
07012 Achevé	Etude de la pathogénie de <i>Xanthomonas albilineans</i> , un modèle original en pathologie végétale
07013 Achevé	Consortium international en Biologie Avancée (CIBA), une initiative Agropolis/Embrapa
07015 Achevé	Analyse et prédiction de la variabilité spatiale et temporelle de l'état hydrique de la vigne à l'échelle micro-régionale à partir d'un réseau de mesures locales et de données spatiales multi-sources.
07024 Achevé	Auxin transport as a key regulator of root developmental responses to nitrogen in <i>Arabidopsis thaliana</i> and <i>Casuarina glauca</i> . Integrating cell biology and mathematical modeling approaches
07030	Molecular, developmental and genetic studies on the fruit abscission process of oil palm (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)
07032	Intégration d'approches génétique, génomique et de sélection assistée par marqueurs pour construire une résistance durable au Phytophthora dans de nouvelles variétés de cacaoyer
07035	Agrobiodiversité : des hommes et des plantes. Outils et méthodes d'analyse
07036 Achevé	Promouvoir les agricultures familiales et l'innovation en Afrique sahélienne : apprendre le dialogue multi-acteurs
07042 Achevé	Processus de diversification variétale chez le figuier et l'olivier au Maroc : une approche interdisciplinaire ethno-biologique et génétique
07044 Achevé	Capitalisation et renforcement des compétences scientifiques sur des méthodes d'évaluation et de développement de l'innovation en agroforesterie dans les zones tropicales humides (Afrique et Amérique centrale)
07045 Achevé	Symposium international "innovation et développement durable 2010
07047	Croissance foliaire et déficit hydrique chez <i>Arabidopsis thaliana</i> et chez le pommier : les trois dimensions.
07049 Achevé	Animation scientifique de la communauté "Biologie intégrative" de Montpellier-Perpignan-Avignon - 1ères rencontres Languedoc-Roussillon/Catalogne en Biologie Intégrative des Plantes
07051 Achevé	XIIIème Congrès Mondial de l'Eau
07054 Achevé	Analyse numérique de la stabilité d'une pente forestière intégrant la dynamique spatio-temporelle du peuplement
07057 Achevé	Préparation d'une démarche de Construction de Systèmes d'Intensification Agro-écologique Innovants pour contribuer à une Agriculture plus Durable
07058 Achevé	Comprendre l'émergence des maladies infectieuses : liaison entre l'évolution du génome et l'évolution de la virulence d'un phytovirus dans la phase d'adaptation à son hôte

07059 Achevé	Modélisation de l'architecture du couvert pour améliorer la description des interactions génotype-environnement par télédétection.
-----------------	--

Mots clés :

BIP-1 : Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie

BIP-2 : Maladies et ravageurs des plantes, protection intégrée des cultures, écologie des populations

DSTI-1 : Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources

DSTI-2 : Innovations agro-alimentaires, valorisation alimentaire et non alimentaire des productions végétales

DSTI-3 : Processus d'innovation, gestion sociale de l'innovation

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07001 Achevé

Titre du projet : Etude du rôle des protéines BolA dans l'homéostasie du fer et la synthèse des centres fer-soufre chez *Arabidopsis thaliana*

Unité responsable du projet : BPMP (Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes) (CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, UMII)

Porteur de projet : Jean-François Briat (briat(a)supagro.inra.fr)

Pays associés au projet : USA

Sous-axes thématiques : BIP-1: Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie

Objectifs :

Le fer est un élément essentiel pour toutes les cellules car les centres Fe-S sont des cofacteurs majeurs des protéines. Toutefois, le fer peut être potentiellement toxique à cause de sa réactivité avec l'oxygène. Les métabolismes du fer et de l'oxygène doivent donc être très finement régulés pour éviter la carence, préjudiciable pour le métabolisme, et l'excès qui est toxique.

Des résultats récents obtenus chez la levure ont montré que la protéine BolA pourrait être impliquée dans l'homéostasie du fer. BolA interagirait avec des glutarédoxines, des protéines qui sont des senseurs de l'état redox de la cellule chez les animaux. Chez *Arabidopsis*, deux protéines contenant des domaines BolA ont été identifiées dans le cytosol et dans le chloroplaste. Dans le plaste, cette protéine (SufE) est impliquée dans la synthèse des centres Fe-S. SufE interagit par son domaine BolA avec le domaine Grx d'une protéine impliquée dans l'assimilation du soufre. Ce résultat suggère que les interactions BolA/Grx pourraient être un mécanisme général permettant l'intégration des signaux fer et stress oxydatif. Concernant la protéine cytosolique BolA, aucune caractérisation n'a été obtenue.

D'autre part, le laboratoire d'accueil a isolé des mutants perte de fonction dans les gènes de ferritines. Les ferritines sont des protéines plastidiales permettant de stocker du fer sous une forme non toxique (ie ne réagissant pas avec l'oxygène) et remobilisable en fonction des besoins du métabolisme. Ces mutants sont affectés dans l'homéostasie du fer.

L'objectif du projet est d'étudier le rôle des protéines BolA et des ferritines dans l'homéostasie du fer et dans la biogénèse des centres fer-soufre, et d'appréhender les interactions entre les métabolismes du fer et de l'oxygène. Ces travaux sont effectués en collaboration avec un laboratoire de l'Université du Colorado. Dans le cadre de ce projet, un chercheur Junior du laboratoire américain viendra effectuer des travaux dans le laboratoire du Dr Briat.

Actions menées et résultats obtenus :

Au cours de son séjour, E. Pilon-Smits a préparé plusieurs outils permettant l'étude de la protéine bolA cytosolique : isolement d'un mutant perte de fonction, et clonage de l'ADNc codant la protéine dans différents vecteurs d'expression (plante, levure). Elle a également mené plusieurs études physiologiques sur les mutants de ferritines. Elle s'est particulièrement intéressée aux réponses de ces mutants à des stress oxydatifs (faible température, forte lumière, utilisation d'oxydants comme le méthylviologène). Elle a mené des études à un niveau physiologique (mesure de la croissance) et moléculaire (mesure de l'activité photosynthétique, activités des enzymes de biogenèse des centres Fe-S et de détoxification des ROS, étude de l'expression des gènes modulés par le stress oxydatif et par le fer).

Article :

Karl Ravet, Brigitte Touraine, Jossia Boucherez, Jean-François Briat, Frédéric Gaymard, Françoise Cellier (Feb 2009) Ferritins control interaction between iron homeostasis and oxidative stress in *Arabidopsis*. Plant J. 57(3):400-412

Perspectives :

Les travaux initiés par E. Pilon-Smits au cours de son séjour sont poursuivis dans les deux laboratoires. La caractérisation de la protéine BolA (expression en levure) et l'étude du mutant correspondant est menée principalement à Montpellier. L'impact de la mutation sur la biogenèse des centres est poursuivie dans le Laboratoire de E. Pilon-Smits. Les résultats de ces études devraient être publiés au cours de l'année 2009. D'autre part, une publication de synthèse sur le sujet, commune aux deux laboratoires, est en cours de rédaction et sera publiée le premier semestre 2009 dans Current Opinion in Plant Biology. Enfin un étudiant en 3^e année de thèse à BPMP (Karl Ravet) partira en post-doctorat dans le laboratoire de E. Pilon-Smits, pérennisant ainsi cette collaboration.

Financement total par Agropolis Fondation: 18 830 € (salaire pour un chercheur Junior)

Catégorie(s) de soutien: Chaire Junior

Durée du projet: 1^{er} décembre 2007 – 31 mars 2008

Mots clés: *Arabidopsis* – fer – soufre – homéostasie - ferritine

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07004 Achevé

Titre du projet : Reconnaissance automatisée des espèces adventices des rizières de Camargue par les techniques de reconnaissance de contenus visuels
--

Unité responsable du projet : AMAP (botanique et bioinformatique de l'Architecture des Plantes) (CIRAD, CNRS, INRA, IRD, UMII)

Porteur de projet : Daniel Barthélémy (barthelemy(a)cirad.fr)

Pays associés au projet : Philippines, Inde, Colombie, Afrique de l'Ouest, Madagascar

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : Innovation

Sous-axes thématiques : BIP-1: Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie, BIP-2: Maladies et ravageurs des plantes, protection intégrée des cultures, écologie des populations, DSTI-1: Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources

Objectifs:

Les difficultés rencontrées pour l'identification taxonomique sont reconnues comme l'un des freins majeurs à l'application de la Convention sur la Diversité Biologique. Depuis que ce frein a été mis en évidence par la Conférence des Parties, de nombreux efforts ont été réalisés pour diffuser l'information taxonomique ainsi que des outils d'identification plus rapides, pertinents et efficaces.

De nombreuses bases de données taxonomiques textuelles et photographiques ont ainsi été générées et sont diffusées au travers des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication). Cependant leur exploitation reste difficile en raison de leur très grande taille et de leur complexité.

Ce projet a pour objectif de permettre l'identification automatique des adventices des rizières de Camargue par le développement d'algorithmes adaptés et l'emploi d'un système de reconnaissance d'images, couplé à une base de données taxonomiques botaniques. Nous effectuerons nos travaux sur une flore limitée sur laquelle nous disposons déjà d'une grande expertise et de plusieurs milliers d'images. Ces recherches seront concentrées sur les espèces présentes dans l'ouvrage « *Les plantes des rizières de Camargue* », coédité par le Cirad, le Parc naturel régional de Camargue, et le Centre français du riz.

Ceci doit permettre d'analyser la faisabilité de l'approche sur un cas concret, et de développer des méthodes génériques d'identification automatique d'espèces végétales à travers l'emploi d'un système informatique de reconnaissance de contenu visuel. Les résultats obtenus fonderont les bases de projets ultérieurs plus ambitieux portant sur l'identification automatisée des adventices des cultures tropicales, des plantes envahissantes ou des espèces végétales constituant divers écosystèmes naturels notamment tropicaux.

Une base de données photographiques portant sur des illustrations standardisées de 178 espèces végétales adventices des rizières de Camargue sera constituée. Cette base de données, ainsi que celle déjà existante sur cette flore, seront exploitées par les outils de reconnaissance d'images pour optimiser les performances de ces derniers. Les outils actuels seront testés et améliorés à l'aide de séries de tests menés conjointement entre informaticiens, botanistes et malherbologues. Les résultats obtenus feront l'objet de publications conjointes entre les différents partenaires, et une restitution des bases de données, et des outils développés sera diffusée sur les sites Internet des différents organismes participants.

Actions menées et résultats obtenus :

Une phase préliminaire de ce projet a consisté à mettre en place un protocole d'acquisition d'images de plantes, adapté à l'évaluation du moteur de recherche de contenus visuels Ikona. La réalisation de ce protocole de prise de vues, ainsi que de celui du traitement informatique des résultats a été effectué sur une base d'images d'Orchidées du Laos.

Une seconde phase du projet a ensuite consisté à adapter celui-ci à la prise de vues d'adventices des rizières de Camargue, au cours de missions régulières de terrain de juin à octobre 2008. L'ensemble des images réalisées ont ensuite été annotées, puis transmises à l'équipe-projet Imedia qui les a indexées et mises à disposition à travers l'outil de reconnaissance de contenus visuels Ikona. Des tests en fonction de la pertinence d'Ikona, du type de prises de vues, et des espèces photographiées ont alors été menés.

Ces tests ont montré une pertinence élevée du moteur de recherche Ikona sur ces bases d'images. Les bases d'images les plus standardisées (telles que les scans de feuilles), montrent les résultats les plus pertinents, tandis que ce sont celles de photos réalisées sur le terrain qui montrent les résultats les plus faibles, notamment en raison de la plus grande surface et hétérogénéité du fond des images acquises. Ces résultats s'expliquent par l'emploi des descripteurs globaux d'images qui prennent en compte la totalité des informations présentes dans les images. Des tests conduits avec des descripteurs locaux (tels que les points d'intérêts) ont montré dans certains cas de bons résultats, grâce au fait qu'ils permettent de s'affranchir de ces contraintes de fonds, cependant il n'existe jusqu'à présent pas d'outils mathématiques adaptés à leur évaluation pour l'identification taxinomique.

Tous les résultats du projet ont été mis en ligne sous forme de tableaux, et graphiques, permettant de visualiser la pertinence des différents descripteurs, sur les différents types d'images. Deux interfaces distinctes, permettent d'utiliser en ligne le moteur de recherche Ikona sur les bases d'images produites dans le cadre de ce projet. L'interface spécifique à la recherche sur la base d'images d'adventices permet de plus d'accéder pour chaque image aux pages descriptives des espèces présentes sur le site des adventices des rizières de Camargue.

Article :

Le Bourgeois T., Bonnet P., Edelin C., Grard P., Proserpi J., Théveny F., Barthélémy D., 2008. L'identification des adventices assistée par ordinateur avec le système IDAO. *Innovations Agronomiques*, 3 : 167-175

Perspectives :

Les résultats fournis dans le cadre de ce projet, permettent d'orienter les recherches futures pour l'adaptation des outils de reconnaissance visuelle pour l'identification taxinomique, très largement exploités dans le cadre du projet PI@ntNet accepté pour financement. Des travaux sont ainsi actuellement en cours, pour évaluer un descripteur de forme spécifique sur les images de scans de feuilles produites, et en comparer les résultats avec ceux obtenus avec les descripteurs visuels génériques évalués. Les requêtes effectuées avec des descripteurs locaux d'images, semblent offrir des perspectives intéressantes pour l'extension de cette approche, ils doivent pour cela être améliorés pour (i) en permettre leur exploitation et évaluation à plus large échelle, (ii) exploiter de manière simultanée des descriptions de formes et de couleurs, (iii) permettre la description de formes en fonction de leur agencement géométrique. Nos travaux ont également révélé l'intérêt de pouvoir effectuer des requêtes combinées de textes et d'images, ainsi que de pouvoir faire des requêtes multi-classes. Le système de recherche visuel sera en effet d'autant plus pertinent qu'un utilisateur affinera sa recherche sur un type d'image et/ou un groupe taxinomique. La recherche multi-classes (à savoir la possibilité de rechercher une espèce par plusieurs types d'images comme des scans de feuilles et des photos de fleurs) fera l'objet de recherches plus approfondies dans le cadre du projet PI@ntNet. Les techniques d'apprentissages n'ont pas pu être évaluées dans le cadre de ces travaux, elles semblent pouvoir nettement améliorer les réponses du système, c'est pourquoi le bouclage de pertinence avec des points d'intérêts fait l'objet d'un sujet de recherche en thèse, financé par l'Inra et l'Inria.

Ces résultats encourageants sur des espèces d'adventices nécessitent des recherches complémentaires, mises en oeuvre dans le cadre de PI@ntNet. Elles doivent permettre la réalisation d'un outil d'identification multi-approches (visuelle, graphique, textuelle) des adventices des rizières irriguées du monde, ceci à travers le projet PI@ntWeed. Les approches préconisées

durant ces recherches se veulent les plus génériques possibles, c'est pourquoi les résultats de ces travaux serviront également de base pour l'extension de cette approche pour l'identification des plantes et/ou maladies des plantes, par plusieurs types d'images et de caractères d'identification.

Financement total par Agropolis Fondation : 15 547 € (frais de mission, CDD de 3 mois pour un ingénieur, achat de matériel photographique)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (soutien à des projets exploratoires, risqués et innovants, « *proof of concept studies* », « *new frontier research* »)

Durée du projet: 7 janvier 2008 - 7 janvier 2009

Mots clés: taxonomie – rizière – adventices – photographie – base de données

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07010 Achevé

Titre du projet : Analyse génétique de l'accumulation du cadmium chez la laitue (*Lactuca sativa*)

Unité responsable du projet : BPMP (Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes) (CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, UMII)

Porteur de projet : Pierre Berthomieu (berthomieu(a)supagro.inra.fr)

Pays associé au projet : Tunisie

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : GALF

Sous-axes thématiques : BIP-1: Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie

Objectifs :

Ce projet vise à identifier les déterminants génétiques de l'accumulation de cadmium chez la laitue, préalable indispensable à la réalisation d'une cartographie fine de ces déterminants et d'un clonage positionnel des gènes impliqués.

Le cadmium est un élément métallique courant, présent à l'état de trace, dont la concentration augmente dans les sols cultivés. Il a des incidences nocives en termes de sécurité alimentaire. Les gènes supposés responsables de l'accumulation de cadmium dans les végétaux ont été identifiés essentiellement lors d'études fonctionnelles menées jusqu'à présent chez la levure. La validation du rôle de ces gènes chez les végétaux reste encore très limitée. Très peu de mécanismes (voire aucun) ont été décrits comme potentiellement impliqués dans le contrôle de l'accumulation de cadmium dans les végétaux en général. La laitue (*Lactuca sativa*) se caractérise par sa grande capacité à accumuler du cadmium dans ses tissus. Elle convient ainsi très bien à l'étude du déterminisme de l'accumulation de cadmium dans les tissus végétaux, et à l'élaboration de stratégies de sélection visant à limiter cette accumulation dans les tissus comestibles d'une espèce de plante cultivée. L'objectif de ce projet est de caractériser les mécanismes d'accumulation du cadmium chez la laitue et d'identifier les déterminants génétiques correspondants. Des études préliminaires visant à caractériser la diversité génétique associée à l'accumulation de cadmium chez les différentes espèces de laitue, ont révélé une nette variabilité selon les variétés. Ce projet vise à approfondir les causes des différences inter-variétales observées, par le biais de caractérisations physiologiques et moléculaires.

Pour cela, des croisements génétiques entre génotypes affichant des phénotypes extrêmes seront effectués, afin d'analyser les fondements génétiques du caractère. Les populations F2 d'au moins trois croisements différents seront produites, et environ 100 plants de chacune de ces populations feront l'objet d'une analyse de l'accumulation du cadmium conformément à la procédure établie par l'équipe. Les données seront analysées pour définir le caractère génétique de l'accumulation du cadmium. La cartographie de ce caractère sera ensuite amorcée, et l'ADN des lignées parentales des hybrides, et des plants F2 analysés, sera extrait. Les marqueurs génétiques déjà décrits dans la littérature seront testés sur ces lignées parentales puis, en cas de polymorphisme, sur la population F2. Ces travaux se poursuivront par une tentative de cartographie complète.

Actions menées et résultats obtenus :

La laitue est une espèce qui accumule des quantités relativement importantes de cadmium dans ses tissus. Dans une logique de sécurité alimentaire, il est intéressant de sélectionner des variétés accumulant les teneurs les plus faibles en cadmium. Nous travaillons sur les caractères d'accumulation de cadmium dans les racines d'une part, et de translocation du cadmium des racines vers les parties aériennes d'autre part. A l'issue d'une étude de diversité, des lignées présentant des phénotypes extrêmes pour ces deux caractères avaient été identifiées et des

croisements entre ces lignées avaient été produites. L'objectif du travail a été d'analyser la ségrégation des deux caractères étudiés dans des populations F2 issues du croisement entre accessions présentant des phénotypes extrêmes pour chacun des caractères considérés. Dans les deux cas, les caractères se sont avérés posséder un déterminisme complexe. Aucun phénomène de transgression n'a été mis en évidence. Nous avons alors souhaité pouvoir cartographier les locus contrôlant les deux caractères étudiés. Après plusieurs mises au point permettant de combiner caractérisation phénotypique et extraction d'ADN sur les mêmes plantes, des extractions d'ADN ont été réalisées sur les 300 plantes F2 produites lors des deux croisements et caractérisées phénotypiquement.

Article :

Walid Zorrig, Aïda Rouached, Zaigham Shahzad, Chedly Abdelly, Jean-Claude Davidian, Pierre Berthomieu (Oct 2010) Identification of three relationships linking cadmium accumulation to cadmium tolerance and zinc and citrate accumulation in lettuce. J. Plant Physiol. 167(15):1239-1247

Perspectives :

Les échantillons d'ADN ont été envoyés au Pr. R. Michelmore (UC Davis) pour qu'il réalise la cartographie génétique des locus contrôlant les caractères (i) d'accumulation de cadmium et (ii) de translocation du cadmium des racines vers les parties aériennes. Les résultats attendus sont tout à fait novateurs, puisque aucun déterminant contrôlant l'accumulation de cadmium n'a à ce jour été identifié dans quelque espèce que ce soit par une approche de génétique directe.

Financement total par Agropolis Fondation : 4 784 € (allocation pré-doctorale, frais de déplacement)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (soutien à des étudiants pré-doctorants)

Durée du projet : 1^{er} janvier 2008 – 31 août 2008

Mots clés : accumulation de cadmium – laitue – *Lactuca sativa* – génétique – croisements – polymorphisme – cartographie

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07012 Achevé

Titre du projet : Étude de la pathogénie de <i>Xanthomonas albilineans</i> , un modèle original en pathologie végétale

Unité responsable du projet : BGPI (Biologie et Génétique des Interactions plantes-pathogènes) (CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro)

Porteur de projet : Monique Royer (monique.royer(a)cirad.fr)

Pays associés au projet : USA

Sous-axes thématiques : BIP-2: Maladies et ravageurs des plantes, protection intégrée des cultures, écologie des populations

Objectifs :

Le xylème des plantes est envahi par de nombreuses bactéries phytopathogènes. Néanmoins, il n'existe à ce jour pas ou très peu de données sur les mécanismes qui permettent à ces pathogènes de coloniser le xylème de leur hôte. La bactérie *Xanthomonas albilineans* est un pathogène systémique du xylème qui provoque la maladie de l'échaudure des feuilles de canne à sucre. Les symptômes de cette maladie varient d'une simple ligne blanche à la mort de la plante, en passant par des blanchiments et des nécroses du feuillage.

X. albilineans sévit dans plus de 60 pays tropicaux et subtropicaux producteurs de canne à sucre. Cette bactérie produit une toxine particulière et spécifique, l'albicidine, qui provoque les symptômes foliaires de la maladie. L'albicidine est un puissant inhibiteur de l'ADN gyrase, qui agit en bloquant la différenciation des chloroplastes par inhibition de la réplication de l'ADN chloroplastique. Les gènes impliqués dans la biosynthèse de l'albicidine ont été clonés et séquencés à l'UMR BGPI en collaboration avec le Professeur Dean W. Gabriel de l'Université de Floride. Bien que les gènes de biosynthèse de l'albicidine soient essentiels dans la pathogénie de *X. albilineans*, d'autres gènes, encore inconnus, jouent également un rôle important dans les interactions hôte-pathogène.

Pour faciliter l'identification de ces gènes pathogènes inconnus, le séquençage du génome complet de *X. albilineans* a récemment été réalisé au Génoscope (Evry, France). L'analyse de ce génome a confirmé que *X. albilineans* constituait un modèle original en pathologie végétale. La taille de ce génome (3,7 Mb) est inférieure à celle d'autres espèces de *Xanthomonas* (environ 5 Mb). Ce génome ne possède pas le système de sécrétion de type III nécessaire aux bactéries phytopathogènes pour l'injection d'effecteurs protéiques de pathogénie dans les cellules de la plante hôte. De plus, il présente 754 ORF qui n'ont été trouvées dans aucune autre espèce de *Xanthomonas*. L'objectif de l'UMR BGPI est d'identifier les gènes pathogènes de *X. albilineans*, afin d'envisager l'élaboration de nouvelles méthodes de lutte contre les maladies des plantes.

Le présent projet va permettre:

- de renforcer une collaboration existante entre le Cirad et l'Université de Floride, en finançant un séjour de trois mois d'un étudiant du Cirad dans cette université. Il y apprendra différents techniques moléculaires récemment développées dans le laboratoire américain.
- d'amorcer une collaboration avec le groupe du Dr Caitilyn Allen de l'université du Wisconsin (Madison, USA). Dr Monique Royer (Cirad) and Dr Philippe Rott (Université de Floride) y effectueront un séjour d'une semaine.

Actions menées et résultats obtenus :

Action 1 : Isabelle Pieretti a effectué un stage de 3 mois à l'université de Floride du 1er février au 30 avril 2008 sous la direction du professeur Dean Gabriel. Ses travaux ont permis d'identifier des gènes spécifiques d'une souche de *X. albilineans* très pathogène en utilisant la technique d'hybridation soustractive et suppressive. Ce séjour aux USA a également permis à I. Pieretti d'améliorer sa pratique de l'anglais, aussi bien à l'oral qu'à l'écrit.

Résultat de l'action 1 : L'Hybridation Soustractive et Suppressive ou SSH (« Suppression Subtractive Hybridization ») est une méthode de criblage différentiel couplée à la PCR qui a été adaptée pour comparer des génomes bactériens. Elle permet de révéler des différences majeures de séquences entre deux souches bactériennes relativement proches. Notre expérimentation a porté sur deux souches de *X. albilineans* (XAFL07-1 et Xa23R1) appartenant à des groupes génétiques et des groupes de pathogénie différents, et elles sont toutes les deux originaires de Floride. Nous avons cherché à mettre en évidence des gènes susceptibles d'être fortement impliqués dans la colonisation épiphyte et vasculaire de la canne à sucre par la souche très pathogène XAFL07-1, la souche « Tester » dans notre analyse. Cette souche appartient au même groupe génétique que la souche GPE PC73 dont on possède aujourd'hui la séquence du génome complet. La souche Xa23R1 qui est beaucoup moins pathogène, et qui n'est pas impliquée dans la colonisation épiphyte de la canne à sucre, nous a servi quant à elle de souche « Driver », c'est-à-dire d'échantillon témoin auquel a été comparé la souche « Tester ». En utilisant le kit PCR-select Bacterial Genome Subtraction Kit (Clontech), nous avons généré une banque soustractive enrichie de 576 clones comprenant après vérification par hybridation Southern blot, 188 séquences considérées comme spécifiques de la souche XaFL07-1. Les 188 clones ont été séquencés puis analysés en comparant leurs séquences avec celles du génome complet de la souche GPE PC73. De toutes ces analyses comparatives, 83 séquences ont été écartées car elles étaient absentes chez GPE PC73 ou parce qu'il s'agissait de séquences de plasmides, de phages ou de transposases. Les 105 séquences restantes ont été retenues pour être validées par PCR et par Dot blot. Il s'agit, entre autres, de séquences codant une hémagglutinine/hémolysine, un récepteur TonB-dépendant, une ADN méthyltransferase, un récepteur membranaire de grande taille, des perméases ou des transporteurs. Ces travaux font l'objet d'une publication en cours de rédaction. Une partie de ces travaux a été réalisée à l'UMR BGPI (Montpellier) par I. Pieretti à son retour de l'université de Floride.

Action 2 : Monique Royer et Philippe Rott ont effectué une mission à l'université du Wisconsin-Madison du 15 au 18 avril 2008 dans le laboratoire du professeur Caitilyn Allen. Monique Royer a profité de ce séjour aux USA pour visiter également le laboratoire de Dean Gabriel à l'université de Floride.

Résultat de l'action 2 : M. Royer et P. Rott ont fait le point avec le professeur C. Allen des recherches en cours sur *X. albilineans* à l'UMR BGPI à Montpellier (M. Royer) et à l'Université de Floride (P. Rott), afin d'établir une nouvelle collaboration. Il a été convenu de la visite à Montpellier de janvier à juin 2009 du professeur C. Allen dans le cadre d'une demi-année sabbatique. Au cours de cette période, le professeur C. Allen donnera des cours à Montpellier SupAgro et effectuera des travaux de recherche sur *X. albilineans* à l'UMR BGPI. Le professeur Allen essayera notamment d'identifier les gènes induits chez *X. albilineans* lors de la colonisation de la canne à sucre par cet agent pathogène, en utilisant des puces à ADN. Ce projet a été soumis et sélectionné dans le cadre de l'AAP 2008 du RTRA. M. Royer et P. Rott ont présenté au département de phytopathologie de l'Université du Wisconsin un séminaire intitulé : "Genomics and functional genomics of *Xanthomonas albilineans*, an unusual *xanthomonas* that causes leaf scald disease of sugarcane". Ils ont également rencontré des chercheurs des départements de pathologie et de microbiologie de l'Université du Wisconsin-Madison spécialisés dans la biosynthèse d'antibiotiques et la recherche de nouvelles molécules produites par divers microorganismes.

Perspectives :

Les travaux réalisés par Isabelle Pieretti ont permis d'identifier plusieurs gènes candidats potentiellement impliqués dans la pathogénie de *X. albilineans*. Le professeur Caitilyn Allen sera accueillie à l'UMR BGPI de janvier à juin 2009 dans le cadre d'un nouveau projet RTRA (N° 0802-012). Ces travaux permettront d'identifier d'autres gènes candidats. Tous les gènes candidats feront l'objet d'études plus approfondies, notamment par analyse fonctionnelle de la souche GPE PC73. Ces études seront réalisées dans le cadre de collaborations avec l'université de Floride et l'université du Wisconsin-Madison.

Financement total par Agropolis Fondation : 12 749 € (frais de déplacement)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (soutien pour le financement de déplacements de doctorants et de post-doctorants à l'étranger)

Durée du projet: 2 janvier 2008 – 30 juin 2008

Mots clés: *Xanthomonas albilineans* – pathogénie – plante –xylème - toxine – canne à sucre – échaudure des feuilles

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07013 Achevé

Titre du projet : Consortium International en Biologie Avancée (CIBA), une initiative Agropolis/Embrapa
--

Unité responsable du projet : AGAP (Amélioration génétique et adaptation des Plantes) (CIRAD, INRA, SupAgro)

Porteur de projet : Marc Berthouly (berthouly(a)cirad.fr)

Pays associé au projet : Brésil

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : AMAP, BGPI, DIADE

Sous-axes thématiques : BIP-1: Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie ; BIP-2: Maladies et ravageurs des plantes, protection intégrée des cultures, écologie des populations,

Objectifs:

L'Embrapa (Institut Brésilien de Recherche Agronomique) maintient depuis longtemps une collaboration fructueuse avec les institutions françaises de recherche agronomique comme le Cirad, l'IRD et l'INRA. Ces institutions et l'Embrapa développent ensemble des coopérations scientifiques et techniques portant sur la réalisation de projets dans les domaines de l'agriculture et des ressources naturelles visant à accroître les connaissances en relation avec le développement durable de l'agriculture. L'une des conséquences de ces collaborations a été la signature d'un accord entre Agropolis et l'Embrapa pour l'installation du Labex (Laboratoire Extérieur de l'Embrapa) à Montpellier en début 2002. L'objectif premier du Labex est d'assurer une veille scientifique et technologique par l'affectation de chercheurs expérimentés dans des laboratoires de pointe en Europe. Parmi les axes prioritaires du Labex, figure la biologie avancée.

L'objectif de ce programme est de monter des projets de recherche qui s'appuieront sur le Consortium International en Biologie Avancée (CIBA). Le consortium CIBA est une initiative Agropolis/Embrapa dont le but est de définir et de pérenniser une stratégie de coopération scientifique et technique internationale efficace. Un apport conjoint de financements doit permettre de construire une entité capable d'étudier et d'exploiter la diversité des ressources génétiques végétales, et d'identifier les gènes et les caractères d'intérêt agronomiques essentiels aux programmes d'amélioration génétique dans le domaine de l'agriculture tropicale et méditerranéenne.

Dans cette proposition est prévu le montage de deux réunions sur 24 mois. La première en 2008 pour répondre aux appels d'offres ANR 2008, et la deuxième en 2009 pour répondre à l'appel d'offre du 7ème PCRD de l'Union Européenne. Ces réunions auront lieu à Montpellier et au Brésil, avec des chercheurs de l'Embrapa et d'Agropolis, afin d'identifier des projets d'intérêt commun pour le montage des propositions à ces appels d'offre. Chaque réunion pourra être organisée sous la forme de deux ateliers thématiques (tolérance à la sécheresse et résistances aux champignons et nématodes) avec des présentations scientifiques et ouvertes au public.

Actions menées et résultats obtenus :

Depuis la création de CIBA, Embrapa et Agropolis ont fait des efforts pour enrichir le portefeuille actuel de projets dans le cadre des thématiques du consortium. En conséquence, les ateliers cofinancés par Embrapa et par Agropolis ont été utilisés pour promouvoir la dynamique entre les équipes de recherche au Brésil et en France, pour la mise en forme de projets de recherche coopérative sur des sujets d'intérêt commun

A. La première réunion organisée à Brasilia par le CIBA à travers le financement du RTRA et Embrapa a d'un côté parfaitement révélé les difficultés et les contraintes de financements de la recherche internationale (aspects négatifs) et de l'autre permis de renforcer scientifiquement les liens entre les différentes équipes (aspect positifs).

Aspect négatifs :

Malgré la qualité des recherches il est difficile d'obtenir des financements internationaux ou nationaux sur certaines plantes (pérennes) qui ne sont pas considérées comme modèle. De plus les enjeux « politiques » internes (inter-institutionnelles) sont parfois un frein à la consolidation des collaborations.

Aspect Positifs :

Même si pour 2008 le nombre de projets pour financement type ANR, 7eme PCRD est inexistant cette réunion à plusieurs aspects positif :

a. Elle a permis de réunir au delà de l'Embrapa, les différentes institutions fédérales et universités Brésiliennes, donnant ainsi sa valeur « fédératrice » au Consortium.

b. Dans le cas de plantes en particulier elle a permis de renforcer les liens déjà existants:

- Palmier : l'Embrapa a accepté de participer « OPGP » (résultats des discussions et échanges durant le séminaire) Ce projet est coordonné par le CIRAD (N. Billote) (10 partenaires). Chacun apporte 150.000 euros. L'embrapa a signé et son entrée sera effective en 2009

- Cacao : Projet ANR 2008 cacaobac : CIRAD/Université arizona/genoscope, le brésil sera associé au projet de séquençage l'an prochain en 2009

- Construction d'une banque BAC de cacaoyer Criollo ; séquençage et analyse bioinformatique des extrémités de BAC Cocoa Criollo BAC library construction ; BAC end sequencing and bioinformatic analyses.

B. La seconde réunion du CIBA a été organisée à Montpellier au siège d'Agropolis International à Montpellier du 5 au 10 Octobre 2009.

L'atelier a été très réussi et à pleinement atteint son objectif « d'articulation » des projets de recherche dans le domaine de la biologie avancée de plantes. Ces propositions visent à encourager un partenariat triparti France/Brésil/Afrique en renforçant les interactions scientifiques existantes entre la France et le Brésil.

A la suite des différentes discussions et conclusions faites par les groupes de travail certaines lignes d'actions ont pu être définies

- *promouvoir l'intégration de la formation au sein du CIBA* : Il a été décidé du besoin d'établir une stratégie claire pour pouvoir favoriser la mobilité (échanges) et la formation scientifique des chercheurs comme partie intégrante des projets CIBA.
- *promouvoir les partenariats tripartis à l'intérieur du CIBA* : Les demandes de recherche identifiées par les collègues africains présents à l'atelier sont plus de nature adaptative et souligne la nécessité d'ajuster les méthodologies déjà développées, au Brésil et en France, aux conditions de l'Afrique.
- *participation des institutions africaines dans le CIBA* : Le CORAF, par le biais de ses responsables, a montré l'intérêt à faire partie et/ou collaborer au CIBA. Les responsables du CORAF ont proposé que le prochain atelier CIBA pourrait se réaliser en Afrique. Le CNPq, par l'intermédiaire de son directeur, s'est engagé à financer une partie de cet événement.

Il a été suggéré que, outre le CORAF, CIBA incluent le FARA (Recherche de Forum pour l'Agriculture en Afrique) comme un partenaire potentiel. Le FARA a été créé par les trois organisations sous-régionales (CORAF, ASARECA et SADC) à mobiliser des ressources, de faciliter l'accès aux technologies, d'élaborer des politiques, de renforcer la formation des pays africains et d'établir des partenariats stratégiques et les alliances qui favorisent la recherche agricole en Afrique.

Une autre organisation importante pour CIBA est l'AGRA (Alliance pour une Révolution Verte en Afrique) qui gère les ressources de Bill & Melinda Gates Fondation. L'AGRA, conjointement avec le FARA, sont actuellement les deux institutions ayant une capacité à financer des projets R & D pour l'Afrique.

- Rencontres "hors " IV WORKSHOP CIBA : C'était la première réunion du comité scientifique de CIBA composé de : Philippe la Guerche (INRA), Jean-Christophe Glaszmann (Cirad), Vera Carvalho Alves et Mauro Carneiro (Embrapa) et José Osvaldo Siqueira (CNPQ). Un rapport de la réunion doit être diffusé.

Il y a une réunion au siège de Agropolis Fondation avec Anne-Lucie Wack (directrice générale Agropolis Fondation); Oliver Oliveros (Chargé de mission senior des partenariats à Agropolis Fondation), Pedro Arcuri (coordinateur Embrapa-Labex-Europe) ; José Osvaldo Siqueira (directeur du programme CNPQ) et Sandoval Carneiro Júnior (CAPES de directeur des relations internationales) pour discuter les termes d'un accord conclu entre le CAPES et Agropolis Fondation qui vise à favoriser la mobilité des chercheurs et des étudiants de troisième cycle brésiliens et français. Agropolis Fondation propose également la signature d'accords avec le CNPQ pour la mise en réseau de projets scientifiques.

Lors d'une réunion avec des collègues brésiliens présents dans l'atelier, José Osvaldo Siqueira (directeur du programme CNPQ) a annoncé le lancement d'un projet de partenariat CNPQ/Labex pour l'octroi de bourses d'études (Ph.d. sandwich et postdoctorales) aux États-Unis et en Europe.

Perspectives :

- **Actions nécessaires pour promouvoir le CIBA :** Besoin d'un débat interne sur le concept de "biologie avancée" et l'applicabilité de la recherche dans ce domaine dans l'amélioration génétique et de la production de plantes tropicales. Par conséquent, il est clair que l'amélioration génétique est partie intégrante et principale cible de projets dans le cadre du CIBA. Il a été soulevé la question de la difficulté de financement de projets CIBA par les organismes nationaux (France) et internationaux car ces organismes ne considèrent pas les cultures tropicales comme une priorité.
- **Un site WEB CIBA est en création (2010), avec le service spécialisé du CIRAD (B. Girardot)**
- **Besoin de recherche d'un financement permanent pour les actions de recherche et formation :** une initiative a été lancée du côté de l'Embrapa. La même chose devra être prochainement mis en parallèle du côté d'Agropolis

Financement total par Agropolis Fondation : 50 000 € (frais de déplacement, frais de séjour)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (soutien à la préparation de dossiers de candidature aux appels à projets nationaux ou internationaux, notamment ANR et UE)

Durée du projet : 2 janvier 2008 –5 décembre 2009

Mots clés : biologie avancée – Agropolis – Embrapa – développement durable – CIBA

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07015 Achevé

Titre du projet : Analyse et prédiction de la variabilité spatiale et temporelle de l'état hydrique de la vigne à l'échelle micro-régionale à partir d'un réseau de mesures locales et de données spatiales multi-sources.

Unité responsable du projet : LISAH (Laboratoire d'étude sur les interactions entre sol, agrosystème et hydrosystème) (INRA, IRD, Montpellier SupAgro) et UMR ITAP (Cemagref)

Porteurs de projet : Philippe Lagacherie (LISAH, lagache(a)supagro.inra.fr) and Bruno Tisseyre (ITAP)

Pays associés au projet : Australie

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : AMAP, BGPI,

Sous-axes thématiques : DSTI-1 : Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources

Objectifs :

La surveillance de l'état hydrique de la vigne dans le temps (tout au long de la saison) et dans l'espace est très importante pour les viticulteurs. Cet état hydrique est essentiel à tous les stades de la production puisqu'il influe sur la vigueur de la vigne, son rendement et la qualité de la récolte. Il constitue ainsi l'une des principales informations sur lesquelles s'appuient les producteurs pour gérer leurs exploitations. La connaissance précise et opportune de l'état hydrique de la vigne devrait être à la base de toute gestion saisonnière visant à optimiser le rendement et la qualité de la production. Une gestion contrôlée est particulièrement pertinente dans les vignobles irrigués où les viticulteurs maîtrisent dans une certaine mesure les conditions hydriques des sols. Au-delà de la production vinicole, il est également indispensable de connaître les variations spatio-temporelles de l'état hydrique de la vigne pour évaluer les ressources hydriques et prévoir leur évolution au regard des changements climatiques intervenant dans les zones méditerranéennes où la vigne est une culture dominante.

L'état hydrique d'une plante varie cependant considérablement dans le temps selon le climat annuel. Il présente en outre une grande variabilité spatiale d'un vignoble et d'une parcelle viticole à l'autre selon la variabilité spatiale du terrain (site). Aussi est-il habituellement un paramètre très difficile et très coûteux à mesurer et à gérer pour les viticulteurs. En conséquence, les études menées dans ce domaine portent sur une échelle soit très grande (région) ou très petite (cep).

Les études à grande échelle (région) s'appuient sur des données climatiques et paysagères portant en particulier sur les tendances constatées d'une région à l'autre et les réponses moyennes pour modéliser les impacts climatiques et environnementaux sur l'état hydrique de la vigne et sur la production de raisin. Les modèles ainsi obtenus sont insuffisamment précis sur le plan spatial pour servir à la gestion d'un vignoble, qui nécessite de comprendre les variations intervenant à cette échelle intermédiaire. Inversement, plusieurs travaux de recherche s'intéressent aux mesures ponctuelles des interactions vigne-sol-climat à l'échelle du cep. Elles sont une bonne source d'informations sur les interactions en présence, mais l'échantillonnage est souvent mal conçu ou insuffisamment dense pour extrapoler l'information à l'échelle de la parcelle viticole ou du vignoble entier.

Ainsi les modèles existants manquent-ils de souplesse pour permettre les changements d'échelle, agrégation ou désagrégation, au niveau du vignoble. Ce projet vise à mettre au point un nouveau modèle, qui intègre les dernières avancées de l'agriculture de précision et des techniques pédologiques (détection et cartographie), afin d'apporter des informations sur une échelle compatible avec la gestion des vignobles.

Les travaux porteront sur le domaine expérimental de Pech-Rouge (Aude), où toutes les sources d'information requises pour tester l'approche envisagée et concevoir le modèle sont déjà disponibles.

Ce modèle aura plusieurs avantages :

- fournir aux viticulteurs des informations plus opportunes et plus précises sur l'état hydrique de la vigne pour les aider à optimiser son rendement et sa qualité (une meilleure gestion produit un meilleur vin, et peut conduire à une industrie plus compétitive et plus durable) ;
- permettre une modélisation à plus petite échelle de l'incidence du changement climatique sur la production viticole, voire permettre la définition d'un modèle capable de faciliter la localisation et le tracé de nouvelles plantations ou replantations viticoles ;
- aider les exploitants et les organismes de réglementation à mieux comprendre l'effet potentiel des pratiques d'irrigation sur la production viticole dans le Languedoc en modélisant l'irrigation à l'échelle d'un vignoble.

Actions menées et résultats obtenus :

Deux domaines de recherche étroitement reliés ont été appréhendés dans ce projet. Ils concernent a) l'évolution spatiale et temporelle de la contrainte hydrique de la vigne dans la plaine viticole du Languedoc et b) la façon dont les informations relatives au stress hydrique de la vigne peuvent être utilisées pour cartographier numériquement les propriétés du sous-sol à l'échelle régionale.

La première année de recherche s'est principalement concentrée sur le premier domaine - avec une analyse approfondie i) des facteurs environnementaux qui déterminent la contrainte hydrique de la vigne ainsi ii) qu'une analyse fine de la variabilité de la contrainte hydrique à différentes échelles spatiales (placette, parcelle, unité pédologique, etc.). Cette étude a permis de mettre en évidence que l'expression végétative de la plante constituait le meilleur indicateur en cours du cycle végétatif alors que le sol et l'unité pédologiques constituaient le meilleur indicateur en fin de cycle, lorsque la contrainte hydrique est la plus importante. Cette étude a également permis de montrer que la variabilité spatiale de la contrainte hydrique des plantes était suffisamment importante pour justifier la mise en œuvre de pratiques modulées à l'échelle d'un vignoble. Deux modèles spatiaux ont été proposés et publiés. Ces modèles, basés sur des mesures relatives ou absolues, permettent de spatialiser la contrainte hydrique à l'échelle de la parcelle à partir d'une mesure effectuée sur un site de référence. La qualité de prédiction des modèles proposés s'est avérée compatible avec les exigences pratiques liées, par exemple à la conduite de l'irrigation. Le modèle de la variabilité temporelle de l'état hydrique des plantes a fait l'objet d'une recherche au cours de la deuxième année. L'objectif du modèle temporel était de limiter le recours aux mesures de références nécessaires au modèle spatial. La base de données élaborée nous a permis de montrer que la relation linéaire qui existait à l'échelle de la parcelle, entre deux mesures de potentiel hydrique réalisées sur des sites différents, pouvait être extrapolée à l'échelle de l'unité pédologique. Il en résulte qu'une mesure de référence, effectuée sur un site, peut être extrapolée aux parcelles appartenant à la même unité pédologique, ce qui permet de réduire le nombre de points de référence nécessaires pour utiliser le modèle spatial proposé. Nos résultats ont également montré que l'extrapolation entre unités pédologiques était possible sous certaines restrictions.

La variation de la contrainte hydrique au cours de la saison a également fait l'objet d'un modèle reposant exclusivement sur des données climatiques. Ce modèle a été étalonné sur la station expérimentale INRA de Pech-Rouge (Gruissan, Aude,). L'intérêt d'un tel modèle est de s'affranchir des mesures directes sur la plante. La qualité de prédiction de ce modèle s'est avérée suffisante pour les opérations de gestion usuelles à l'échelle d'un vignoble. Un tel modèle est dépendant des conditions pédologiques et climatiques sur le site considéré. Toutefois, des travaux préliminaires ont montré que le transfert du modèle temporel sur deux sites distants (~ 100 km) est relativement simple puisqu'il nécessite seulement la détermination d'un coefficient local de correction linéaire, ce qui peut être aisément réalisé avec quelques points de mesures.

Les modèles spatiaux et temporels sont actuellement en phase d'intégration et des analyses sont en cours pour déterminer la sensibilité et la précision des différents modèles spatio-temporels. Il s'agit, en particulier de vérifier si les erreurs de prédiction générées par les deux modèles intégrés restent compatibles avec les précisions requises pour le pilotage de certaines opérations en viticulture.

En ce qui concerne le second domaine de recherche - la cartographie numérique des sols -, les recherches ont été principalement menées au cours de la deuxième année. Ces travaux ont été basés sur une nouvelle approche développée à l'UMR LISAH pour cartographier l'évapotranspiration (ET) à l'échelle de la région. Les essais de modélisation ont démontré que l'ajout des données ET, relatives au fonctionnement des plantes, permettait d'améliorer les prédictions et la cartographie de la profondeur du sol (réserve utile), par rapport à une approche classique reposant sur des covariables environnementales et topographiques seules. Les modèles ont été testés à l'échelle d'un bassin versant (le bassin versant de La Peyne, Hérault, France), ce qui a permis de démontrer que dans les situations de monoculture, la croissance des plantes constituait une covariable importante pour améliorer la précision et la résolution des prédictions des propriétés du sous-sol qui ne sont pas directement accessibles par télédétection. L'ET, qui est un indicateur de la contrainte hydrique de la plante, s'est avéré particulièrement pertinent pour modéliser et cartographier la profondeur et la réserve utile du sol.

En plus de ces travaux, le Dr Taylor a également participé à plusieurs collaborations avec d'autres équipes du Campus de La Gaillarde ainsi qu'avec des partenaires internationaux. Ces collaborations ont principalement concernées les domaines de l'agriculture de précision et de l'arboriculture.

Articles :

Taylor, J.A. Coulouma, G., Lagacherie, P. and Tisseyre, B. (2009) Mapping soil units within a vineyard using statistics associated with spatial data and factorial discriminant analysis. *Geoderma*, 153, p278-284 (doi: 10.1016/j.geoderma.2009.08.014)

Taylor, J.A. Acevedo-Opazo, C., Ojeda, H. and Tisseyre, B. (2009) Identification and significance of sources of spatial variation in grapevine water status. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16(1) p218-226 (doi: 10.1111/j.1755-0238.2009.00066.x)

Pedroso M., Taylor, J.A., Tisseyre, B., Charnomordic, B and Guillaume, S. (2009) A segmentation algorithm for the delineation of management zones. *Comput. Electron. Agric.* 70, p199-208 (doi: 10.1016/j.compag.2009.10.007)

Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Taylor, J.A., Ojeda, H. and Guillaume, S. (2010) A model for the spatial prediction of water status in vines (*Vitis vinifera* L.) using high resolution ancillary information. *Precis. Agric.* (On-line First) (doi: 10.1007/s11119-010-9164-7).

Moacir Pedrosoa, James Taylor, Bruno Tisseyre, Brigitte Charnomordic, Serge Guillaume (2010) A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 70, Issue 1, January 2010, Pages 199-208

Perspectives :

A court terme (1-2 ans), le Dr Taylor continuera à travailler avec les Drs Tisseyre et Lagacherie sur plusieurs articles scientifiques relatifs aux recherches entreprises lors de ce séjour post-doctoral. Il travaillera également sur un autre article scientifique relatif à un algorithme de segmentation spatiale, ce travail scientifique est issu de collaborations avec les UMR ITAP et ASB. À moyen terme (3-5 ans), les partenaires du projet envisagent de présenter des demandes de financement au niveau européen pour développer les méthodes proposées sur la cartographie numérique des sols à l'aide de covariables relatives au développement végétatif des plantes. Le Dr Taylor est également impliqué dans un projet en cours avec le Dr Tisseyre et l'Institut Français de la Vigne et du Vin. Ce projet est relatif à la gestion de la contrainte hydrique de la vigne à l'échelle d'une appellation contrôlée (Syndicat de cru de Tavel). A plus long terme (+5 ans), les collaborations entreprises entre le Dr Taylor, l'UMR LISAH et l'UMR ITAP devraient perdurer sur le thème de la spatialisation de l'état hydrique des plantes.

Financement total par Agropolis Fondation : 111 632 € (salaire pour un post-doctorant, frais de déplacement, frais de fonctionnement)

Catégorie(s) de soutien : Allocation post-doctorale

Durée du projet : 2 janvier 2008 – 21 octobre 2010

Mots clés : vin – vigne – modélisation – irrigation – état hydrique

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07024 Achevé

Titre du projet : Le transport de l'auxine, régulateur-clé des réponses de développement racinaire à l'azote chez *Arabidopsis thaliana* et *Casuarina glauca*.

Unité responsable du projet : BPMP (Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes) (CNRS, INRA, SupAgro, UMI)

Porteur de projet : Alain Gojon (gojon(a)supagro.inra.fr)

Pays associé au projet : Royaume-Uni

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : AGAP, DIADE

Sous-axes thématiques : BIP-1: Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie

Objectifs :

L'une des principales caractéristiques des végétaux est leur capacité à réagir aux fortes fluctuations de l'environnement par une modification profonde de leur développement. C'est particulièrement vrai dans le cas de la réponse au stress nutritif, l'une des contraintes abiotiques les plus fréquentes auxquelles les plantes soient confrontées. Le stress nutritif a d'importants effets sur l'architecture racinaire, déclenchés par des voies signalétiques spécifiques. Dans le cas du nitrate (NO₃⁻) et du phosphate (PO₄), on a montré que ces voies signalétiques impliquaient l'auxine, une phytohormone essentielle dans le développement racinaire. L'auxine joue un rôle particulièrement crucial dans la formation et la croissance des racines latérales, qui dépendent de l'établissement de gradients locaux d'auxine au point d'initiation d'une racine latérale et dans la jeune racine latérale émergente.

L'objectif de ce projet est d'étudier comment la disponibilité en azote module les gradients d'auxine au sein du système racinaire, et de quelle manière cela provoque une évolution du développement des racines. Deux modèles biologiques seront utilisés : i) *Arabidopsis thaliana*, pour laquelle le but est de déterminer comment la détection du nitrate (NO₃⁻) par les transporteurs de NO₃⁻ régule l'architecture racinaire par l'altération du transport de l'auxine, et ii) *Casuarina glauca*, une plante tropicale sur laquelle on cherche à déterminer le rôle du transport d'auxine dans la formation des nodules fixateurs d'azote causée par le déficit en azote.

La question commune qui se pose pour les deux espèces est de savoir comment l'azote module le transport de l'auxine pour réguler la croissance des racines latérales (chez *Arabidopsis*) ou la formation d'une racine latérale modifiée, le nodule actinorhizien, (chez *Casuarina*). Cela élargira les connaissances acquises sur l'espèce modèle *A. thaliana* à une plante tropicale qui est une espèce pionnière importante dans la réhabilitation des sites pauvres ou dégradés des pays tropicaux et subtropicaux.

L'étude des gradients d'auxine dans les tissus racinaires constitue un défi, car les concentrations et les flux locaux d'auxine sont difficiles à déterminer. Le projet vise à surmonter cette difficulté en développant des approches complémentaires.

Actions menées et résultats obtenus :

L'objectif du projet était d'étudier l'influence de la disponibilité de l'azote sur les gradients de l'hormone végétale auxine dans le système racinaire et ses conséquences sur le développement des racines ou des nodosités fixatrices d'azote. 2 modèles biologiques ont été utilisés: i) *Arabidopsis thaliana*, pour lequel l'objectif était de déterminer comment la perception du nitrate (NO₃⁻) par AtNRT1.1 régule l'architecture racinaire via des modifications de transport d'auxine, et

ii) *Casuarina glauca*, pour lequel le but était de comprendre le rôle de l'auxine dans la formation des nodosités fixatrices d'azote formées en conditions de carence azotée.

Chez *Arabidopsis*, nous savions au début du projet que le transporteur de nitrate NRT1.1 contrôle la croissance des racines latérales car il intervient également dans un transport d'auxine régulé par le nitrate (schématiquement: en absence de nitrate, NRT1.1 transporte de l'auxine; en présence de nitrate, NRT1.1 transporte du nitrate mais plus d'auxine). Le rôle de NRT1.1 est de freiner la croissance des racines latérales en y limitant l'accumulation d'auxine lorsque la disponibilité externe en nitrate est faible, mais pas lorsqu'elle est forte. L'hormone ne s'accumule donc fortement que dans les racines au contact d'une concentration élevée de nitrate. Puisque l'auxine stimule la croissance des racines latérales, ceci permet à la plante de favoriser cette croissance spécifiquement dans les zones du sol où le nitrate est abondant. Le mécanisme par lequel NRT1.1 prévient l'accumulation d'auxine dans les racines restait cependant mystérieux. La localisation de la protéine NRT1.1 (obtention puis étude de transformants NRT1.1-GFP) a révélé que ce transporteur est spécifiquement exprimé dans les tissus de la racine latérale impliqués dans le transport basipète de l'hormone hors de la racine latérale vers les tissus vasculaires de la racine principale. La suite du travail a permis de réaliser deux types d'observations intéressantes: (1) l'expression de la protéine NRT1.1 est réprimée par l'azote, et (2) le nitrate régule également l'expression de plusieurs autres transporteurs d'auxine (LAX3, PIN1, PIN2). Brièvement, ces observations ont révélé qu'une carence en azote favorise l'expression précoce de NRT1.1 dans les jeunes primordia de racines latérales. Cette expression précoce semble associée à un avortement des primordia, suggérant que NRT1.1 ne fait pas que moduler la vitesse de croissance des racines, mais contrôle également une étape-clé du développement initial. D'autre part, l'effet du nitrate sur les autres transporteurs d'auxine (répression de PIN1 et PIN2 et stimulation de LAX3) indique un contrôle général du trafic hormonal dans les racines par l'azote, dont le mécanisme impliquant NRT1.1 ne constitue qu'un aspect. Ces résultats sont originaux et ouvrent de nouvelles perspectives. Des expériences complémentaires sont en cours pour compléter ces résultats.

Chez *Casuarina*, la formation des nodosités actinorhiziennes en conditions de carence azotée et en symbiose avec la bactérie du sol *Frankia* s'accompagne de l'expression du transporteur d'influx d'auxine CgAUX1 dans les cellules infectées par la bactérie symbiotique. Des dosages d'auxine nous ont permis de mettre en évidence une plus forte accumulation d'acide indole acétique (IAA) et d'acide phenylacétique (PAA) dans les nodules que dans les racines non infectées. Des expériences d'immunolocalisation de ces deux molécules indiquent qu'elles s'accumulent préférentiellement dans les cellules infectées par *Frankia*. Par ailleurs, l'immunolocalisation de transporteurs d'efflux d'auxine de type PIN1 a révélé la présence de ces transporteurs dans les cellules non-infectées qui entourent les cellules infectées par *Frankia* dans les nodules de *C. glauca*. Une approche de modélisation nous a permis de montrer que cette répartition des transporteurs d'auxine dans les nodules conduit à une accumulation spécifique d'auxine dans les cellules infectées par *Frankia*. Une analyse du génome de *Frankia* et l'étude de l'expression de gènes de *Frankia* nous indique également une production d'auxine (IAA et PAA) par la bactérie in planta. L'ensemble de ces résultats indique un lien entre l'auxine et l'infection symbiotique.

En résumé, les travaux entrepris ont donné d'excellents résultats. Ceci est d'autant plus vrai que chaque partie (*Arabidopsis* et *Casuarina*) ne correspond qu'à un an du travail de F. Perrine-Walker, qui a été particulièrement efficace. Des approches et des questionnements similaires ont été utilisés sur les deux modèles et ont permis une forte interaction entre les deux parties du projet.

Articles :

Gojon A, Krouk G, Perrine-Walker F, Laugier E. 2011. Nitrate transceptor(s) in plants. *J Exp Bot* 62: 2299-2308.

Krouk G, Ruffel S, Gutiérrez RA, Gojon A, Crawford NM, Coruzzi GM, Lacombe B. 2011. A framework integrating plant growth with hormones and nutrients. *Trends Plant Sci* 16: 178-182.

Perrine-Walker F, Doumas P, Lucas M, Vaissayre V, Beauchemin NJ, Band LR, Chopard J, Crabos A, Conejero G, Péret B, King JR, Verdeil JL, Hocher V, Franche C, Bennett MJ, Tisa LS, Laplaze L. 2010. Auxin carriers localization drives auxin accumulation in plant cells infected by *Frankia* in *Casuarina glauca* actinorhizal nodules. *Plant Physiol* 154: 1372-1380.

Gabriel Krouk, Benoît Lacombe, Agnieszka Bielach, Francine Perrine-Walker, Katerina Malinska, Emmanuelle Mounier, Klara Hoyerova, Pascal Tillard, Sarah Leon, Karin Ljung, Eva Zazimalova, Eva

Benkova, Philippe Nacry, Alain Gojon (Jun 2010) Nitrate-regulated auxin transport by NRT1.1 defines a mechanism for nutrient sensing in plants. Dev. Cell 18(6):927-937

Péret B, De Rybel B, Casimiro I, Benková E, Swarup R, Laplaze L, Beeckman T, Bennett MJ. 2009 Arabidopsis lateral root development: an emerging story. Trends Plant Sci. 14: 399-408.

Perspectives :

Le travail sur *Arabidopsis* se poursuit pour déterminer si NRT1.1, en plus de son rôle dans le contrôle de la vitesse de croissance des racines latérales, agit également sur les étapes précoces du développement (études cinétiques de l'expression de NRT1.1 au cours du développement des primordia, associées à une analyse de la viabilité de ces primordia). L'étude de l'effet du nitrate sur l'expression des autres transporteurs d'auxine sera poursuivie dans un fond génétique mutant pour NRT1.1, de manière à révéler un rôle éventuel de cette protéine dans la régulation des autres transporteurs d'auxine.

Le travail sur *Casuarina* sera poursuivi pour essayer de déterminer quel est le rôle de l'auxine au cours de l'infection symbiotique. Pour cela, nous utiliserons une puce ADN 15K *Casuarina* pour analyser l'expression des gènes dans les nodules en présence ou absence d'un inhibiteur de l'influx d'auxine (NOA). Cela devrait nous permettre d'identifier les gènes symbiotiques dont l'expression est régulée par l'auxine. Par ailleurs, une forme dominante négative d'un régulateur transcriptionnel de la réponse à l'auxine (CgIAA7-DN) a été généré dans notre équipe et sera exprimé dans les cellules infectées pour inhiber la réponse à l'auxine spécifiquement dans ces cellules. L'effet de cette inhibition sur l'interaction symbiotique sera déterminé.

Financement total par Agropolis Fondation : 117 265 € (salaire pour un post-doctorant, frais de déplacement, frais de fonctionnement, participation à un atelier)

Catégorie(s) de soutien : Allocation post-doctorale

Durée du projet : 1^{er} mars 2008 – 24 novembre 2010

Mots clés : auxine – *Arabidopsis thaliana* – *Casuarina glauca* – développement des racines – azote

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07030

Titre du projet : Études moléculaires, développementales et génétiques sur l'abscission des fruits du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Unité responsable du projet : DIADE (Diversité, Adaptation et développement des Plantes) (IRD, UMII)

Porteur de projet : Timothy Tranbarger (timothy.tranbarger(a)mpl.ird.fr)

Pays associé au projet : Thaïlande

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : AGAP

Sous-axes thématiques : BIP-1: Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie

Objectifs :

Le développement et la maturation des fruits, essentiels à l'alimentation humaine et animale, sont des processus biologiques uniques, propres aux plantes à fleurs. Le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq) appartient à la famille des *Arecaceae* et son fruit est la première source d'huile végétale comestible du monde. L'amélioration des rendements de production d'huile est actuellement limitée par les pertes dues à une maturation précoce du fruit, conduisant à sa chute prématurée, avant récolte. Ce projet vise à comprendre le phénomène moléculaire à l'origine de la maturation et de l'abscission qui entraînent la chute précoce des fruits du palmier à huile, et à permettre ainsi une augmentation de la productivité des palmeraies.

Les progrès de la recherche moléculaire sur l'abscission sont freinés par le manque de matériel génétique expérimental approprié (génotypes ou mutants responsables de l'abscission) et par la quantité limitée de cellules de la zone d'abscission (ZA) disponibles dans l'espèce modèle pour des approches moléculaires. Les travaux consacrés à des plantes modèles, comme la tomate, montrent que la chute des fruits est un processus développemental très coordonné, qui implique la ZA. La spécialisation de la ZA qui se développe dans le pédicelle de la fleur apparaît plus tard dans le développement du fruit, lorsqu'une sous-population de ces cellules répond aux signaux émis par le fruit en cours de maturation. Une fois perçus, ces signaux provoquent l'expression spécifique à la ZA de plusieurs gènes liés à l'abscission, dont certains codent pour les enzymes modifiant la paroi cellulaire, ce qui réduit l'adhésion des cellules adjacentes de la ZA. L'activité de ces enzymes sur les parois cellulaires de la ZA provoque la séparation des cellules adjacentes à la base du pédoncule et le fruit tombe. Le palmier à huile est un excellent système modèle, qui présente des matériels génétiques ayant des caractères d'abscission différents et où les échantillons tissulaires de la ZA prélevés sur les fleurs en développement ou sur le fruit en cours de maturation peuvent être disséqués en quantité suffisamment importante pour la construction de banques d'ADNc. Enfin, les gènes candidats associés à l'issue des recherches au processus d'abscission du palmier à huile pourront être testés en vue d'une utilisation dans des programmes de sélection assistée par marqueurs moléculaires.

Cette étude se concentrera sur la caractérisation moléculaire et cellulaire de la zone d'abscission du palmier à huile, depuis sa différenciation pendant la floraison jusqu'au stade de séparation cellulaire qui entraîne la chute du fruit.

Financement total par Agropolis Fondation : 120 000 € (allocation pour un doctorant, frais de déplacement, frais de fonctionnement)

Catégorie(s) de soutien : allocation doctorale

Durée du projet : 2 février 2008 – 30 avril 2011

Mots clés : palmier à huile – zone d’abscission – mûrissement des fruits – desquamation

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07032

Titre du projet : Intégration d'approches génétique, génomique et de sélection assistée par marqueurs pour construire une résistance durable au *Phytophthora* dans de nouvelles variétés de cacaoyer

Unité responsable du projet : AGAP (Amélioration génétique et adaptation des Plantes) (CIRAD, INRA, SupAgro)

Porteur de projet : Claire Lanaud (claire.lanaud(a)cirad.fr)

Pays associés au projet : Trinidad et Tobago, Côte d'Ivoire, Cameroun, Brésil

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : BGPI

Sous-axes thématiques : BIP-1: Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie, BIP-2: Maladies et ravageurs des plantes, protection intégrée des cultures, écologie des populations

Objectifs :

Les oomycètes et en particulier le *Phytophthora* sont une menace permanente et grave pour l'agriculture. *P. palmivora*, l'espèce la plus répandue dans les zones tropicales et subtropicales, s'attaque à environ 150 espèces végétales, notamment le cacao (*Theobroma cacao*).

Le cacao est essentiellement produit dans de petites exploitations. On estime qu'environ 14 millions de personnes dans le monde travaillent dans des plantations de cacao. L'espèce *Phytophthora* cause 30 % des pertes de production de cacao dans le monde.

Les traitements chimiques peuvent être efficaces, mais ils polluent et sont souvent trop coûteux. Le *T. cacao* présente plusieurs sources de résistance génétique, et l'accumulation de différents gènes de résistance constitue un meilleur moyen d'obtenir une résistance durable au *Phytophthora*. Une approche génétique par loci de caractères quantitatifs (LCQ) est la meilleure façon d'identifier les fondements génétiques de la résistance au *Phytophthora* et les différentes sources génétiques des gènes de résistance parmi plusieurs géniteurs résistants. Des cartes haute-densité ont déjà été établies par l'équipe DAP, et plusieurs LCQ différents ont été identifiés dans un certain nombre de génotypes, confirmant la nature quantitative de la résistance au *Phytophthora*. Néanmoins, ces études doivent être achevées pour d'autres sources importantes de résistance. Cette approche fournit également des marqueurs pour l'accumulation de gènes de résistance dans de nouvelles variétés, au moyen de la sélection assistée par marqueurs (SAM).

Ce projet présente une approche intégrée associant des activités de génétique, de génomique et de sélection assistée par marqueurs.

Les objectifs spécifiques de l'étude sont de :

- compléter l'identification des régions du génome (LCQ) impliquées dans la résistance au *Phytophthora* ;
- identifier les gènes candidats impliqués dans la résistance au *Phytophthora* en associant des approches de génomique fonctionnelle et de cartographie génétique ;
- confirmer la présence d'allèles LCQ favorables à la résistance identifiés au cours du projet et lors d'études LCQ antérieures réalisées sur une population résistante collectée au champ au Cameroun ;

- utiliser la sélection assistée par marqueurs (SAM) pour améliorer la résistance du cacao au *Phytophthora*.

La recherche des gènes candidats à l'origine de la résistance au *Phytophthora* pourrait fournir des outils plus efficaces permettant de contrôler l'accumulation des gènes de résistance, et de découvrir une nouvelle source de gènes de résistance dans la collection de matériel génétique. De plus, une meilleure compréhension des interactions *T. cacao/Phytophthora* pourrait aussi avoir un intérêt plus large et aider à comprendre les interactions entre *Phytophthora* et d'autres plantes.

Financement total par Agropolis Fondation : 259 320 € (salaires pour 2 doctorants et 2 post-doctorants, frais de déplacement, frais de fonctionnement)

Catégorie(s) de soutien : allocation doctorale, allocation post-doctorale

Durée du projet : 2 janvier 2008 – 31 décembre 2010

Mots clés : *Phytophthora* – cacao –résistance – génétique – génomique - QTL

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07035

Titre du projet : Ecole Thématique Internationale « Agrobiodiversité : des hommes et des plantes. Outils et méthodes d'analyse »

Unité responsable du projet : DIADE (Diversité, Adaptation et développement des Plantes) (IRD, UMII)

Porteur de projet : Jean-Louis Pham (pham(a)ird.fr)

Pays associés au projet : Maroc, Canada, Brésil

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : AGAP, GREEN, RPB

Sous-axes thématiques : BIP-1 : Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie, DSTI-1: Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources, DSTI-3: Processus d'innovation, gestion sociale de l'innovation

Objectifs :

Dans les centres de diversité des plantes cultivées, en grande partie situés dans les pays du Sud, les systèmes de production s'appuient encore sur une large gamme de diversité génétique, générée depuis la domestication par le savoir-faire paysan en terme de création de variétés, et maintenue au cours des générations par les pratiques de gestion de semences.

Préserver cette diversité *in situ* est nécessaire parce que toutes ces ressources génétiques ne peuvent être conservées *ex situ* en banques de gènes et que ces dernières ne peuvent proposer le maintien des processus évolutifs. L'importance des populations humaines locales pour la conservation de l'agrobiodiversité et aussi de l'accès des paysannes du Sud aux ressources génétiques ont été mis en avant par les grandes conventions internationales (Convention sur la Diversité Biologique, Plan Mondial d'Action pour les Ressources Phytogénétiques) pour promouvoir le développement de stratégies de conservation *in situ* de l'agrobiodiversité.

Comparée à la conservation et à l'étude des collections *ex situ* ou à l'amélioration variétale conventionnelle, la conservation *in situ* ne bénéficie pas du même effort de structuration de la communauté internationale en terme de recherche, mise en œuvre et formation. L'émergence relativement récente de cette approche, son caractère par nature décentralisé, et le fait qu'elle s'inscrive intrinsèquement dans des environnements ouverts, et donc complexes, sont autant d'explications.

La demande de formation est cependant forte de la part de professionnels (scientifiques, ONG, décideurs) du Sud engagés par intérêt ou nécessité politique dans la préservation et utilisation de la diversité *in situ* des ressources phytogénétiques. Elle fait malheureusement face à un cruel déficit de l'offre de formation (cours, supports écrits ou web). S'il existe (à Wageningen par exemple) des formations sur les aspects généraux et politiques de la conservation *in situ* des plantes cultivées, on n'en trouve pas portant sur les outils et méthodes récents adaptés à l'étude de l'agrobiodiversité et sur les moyens de combiner ces méthodes pour développer des approches pluridisciplinaires.

L'objectif de ce projet est double :

- Développer l'offre de formation sur l'étude pluridisciplinaire de l'agrobiodiversité des plantes cultivées dans les agroécosystèmes du Sud en vue de sa conservation et son utilisation durables
- Former des étudiants et des professionnels du Sud à des méthodes et outils pour l'analyse pluridisciplinaire de la diversité à différents niveaux (plantes, agrosystèmes, pratiques), à en

appréhender les limitations, et à situer leurs projets dans le contexte scientifique et politique complexe de la préservation et de l'utilisation de l'agrobiodiversité.

Une école thématique internationale pluridisciplinaire sur l'analyse de la diversité des plantes cultivées et des pratiques agricoles associées dans les agroécosystèmes, à destination de doctorants, chercheurs et autres professionnels du Sud a été organisée. A cette occasion ont été définis et produits le contenu et le matériel pédagogique permettant la reconduction de cette école en d'autres temps et lieux.

Financement total par Agropolis Fondation : 83 200 € (CDD, frais de voyage et d'hébergement, location de salle et achat de matériel)

Catégorie(s) de soutien : Ecole thématique internationale

Durée du projet : 1^{er} décembre 2007 – 30 juin 2011

Mots clés : agrobiodiversité – conservation *in situ* – ressources génétiques – formation – école thématique

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07036 Achevé

Titre du projet : Apprentissage, Production et Partage d'Innovations (Atelier APPRI) : quels outils pour le renforcement des capacités, les mesures d'accompagnement, la co-construction et la mise en œuvre durable d'innovations dans les zones rurales sèches en Afrique

Unité responsable du projet : AGAP (Amélioration génétique et adaptation des Plantes) (CIRAD, INRA, SupAgro)

Porteur de projet : Danièle Clavel (clavel(a)cirad.fr)

Pays associés au projet : Burkina Faso, Sénégal, Brésil

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : Innovation, LSTM, SYSTEM

Sous-axes thématiques : BIP-1 : Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie, DSTI-1: Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources, DSTI-3: Processus d'innovation, gestion sociale de l'innovation

Objectifs :

Le rapport annuel 2006 de la FAO souligne que l'Afrique subsaharienne paie le plus lourd tribut à la faim avec une augmentation de 169 à 206 millions de personnes mal nourries en 10 ans et une concentration de la faim dans les zones rurales où la production agricole notamment vivrière, stagne.

En Afrique, 45% du territoire est classé comme aride à sub-humide sec. Cette région est particulièrement touchée par les changements climatiques et les sécheresses récurrentes. Malgré ces conditions difficiles, les petites exploitations agricoles qui constituent plus de 90% des fermes, restent le pivot de la plupart des économies des pays africains en fournissant près de 60 % des emplois et du PIB.

Nous nous proposons d'organiser un colloque afin de réfléchir aux conditions et actions permettant l'amélioration de la pertinence et de l'impact des innovations agricoles dans le contexte de la durabilité des systèmes des « petites agricultures » africaines. Ce colloque, qui se tiendra en Afrique sahélienne francophone vise à identifier les besoins en recherche et les objets de recherche dans le domaine de la participation multi-acteurs.

Les résultats attendus sont principalement :

- une meilleure sensibilisation des acteurs aux approches participatives pour améliorer les résultats de l'agriculture africaine dans les zones sèches
- l'établissement, grâce à un rapprochement avec les universités paysannes du Nordeste brésilien, d'un cadre conceptuel pour un dialogue multi acteurs capable de formuler, concevoir, suivre et évaluer les projets agricoles de ces zones.

Actions menées et résultats obtenus :

L'atelier APPRI2008 est une initiative du CIRAD, en collaboration avec l'IRD, l'INERA et la CPF (Confédération Paysanne du Faso) et l'appui financier de Agropolis Fondation, du CTA et de l'Ambassade de France. Il a réuni 50 participants venant du Burkina, Cameroun, Ethiopie, Ghana, Guinée, Mali, Niger, Sénégal, Soudan, Tanzanie, Kenya et du Brésil. Ces participants étaient issus d'organisations professionnelles paysannes, d'ONGs, d'institutions de recherche et de formation opérant dans les zones sèches d'Afrique.

L'objectif était principalement d'analyser les conditions de mise en œuvre de pratiques alternatives de recherche-action en partenariat pour le développement, prenant en compte les difficultés de la recherche « officielle » et du monde rural face aux grands enjeux du développement durable au Sud. Une originalité d'APPRI était de confronter les expériences des zones rurales africaines présentées lors de l'atelier à celles de l'Université Paysanne UNICAMPO mise en place depuis 10 ans dans le Nordeste brésilien, région semi-aride où les exploitations agricoles présentent de grandes similitudes avec celles des zones sèches d'Afrique.

Le concept d' « université paysanne » a été retenu à l'unanimité comme lieu de fédération d'initiatives en partenariat regroupant la recherche, les agents du développement rural, les organisations paysannes et groupements de producteurs, les communautés et les communes rurales. Ces universités paysannes seront des lieux d'apprentissage où se partage une vision commune pour la mise en œuvre d'actions de développement et de valorisation du milieu destinées notamment aux petites exploitations familiales.

De façon unanime, le groupe APPRI2008 admet que l'innovation technique et institutionnelle en partenariat est centrale. Elle doit être co-construite à partir des savoirs locaux et de la connaissance scientifique et technique. L'information et la communication entre tous les acteurs du développement doivent être repensées et renforcées pour être plus interactives et plus efficaces. Le but est non seulement d'améliorer la production agricole mais aussi de contribuer à la reconnaissance culturelle et de participer à la transformation sociale et économique des communautés rurales.

Les actions à promouvoir à travers ces universités visent à permettre l'appropriation des innovations par les communautés rurales africaines à travers notamment :

- la construction de réseaux d'échange à partir du noyau de personnes-ressources APPRI2008 constitué par les acteurs présents ;
- un renforcement des capacités et la formation de tous les acteurs de l'innovation y compris celle des chercheurs ;
- le co-apprentissage des chercheurs, développeurs, agriculteurs et populations rurales ;
- l'élaboration des contenus et la diffusion d'une documentation et d'une information scientifiques adaptées, décentralisées et combinées avec les savoirs locaux ;

L'université paysanne est comprise comme une innovation sociale, lieu de convergence des savoirs utilisant des outils tels que la « caravane de l'innovation » comme stratégie de mobilisation de la solidarité locale, nationale et internationale, de l'échange et de la capitalisation des savoirs. Les outils à développer par la caravane seront notamment :

- l'identification des groupes ruraux actifs et fonctionnels ;
- l'aide à la formulation et l'expression des besoins ainsi que le recueil des propositions ;
- l'élaboration collective d'une charte recensant les principes de mise en œuvre de projets concrets ;
- l'échange sur les projets, les difficultés rencontrées et les stratégies adoptées localement ;
- la réflexion sur les dispositifs de suivi-évaluation des projets ;
- le dialogue avec les autorités locales, traditionnelles, communales et nationales ;
- la proposition d'actions d'échanges, de valorisations et d'éducation : expositions, forums, formations itinérantes, ouvertes, et à distance.

Financement total par Agropolis Fondation : 40 000 € (frais de communication, frais de déplacement et de séjour, location de salle pour la conférence)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (aide à l'organisation d'évènements scientifiques de haut niveau, colloques, séminaires, ateliers etc.)

Durée du projet : 2 janvier 2008 – 31 décembre 2008

Mots clés : zones sèches – zones arides – colloque – changements climatiques

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07042 Achevé

Titre du projet : Processus de diversification variétale chez le figuier et l'olivier au Maroc : une approche interdisciplinaire ethno-biologique et génétique

Unité responsable du projet : AGAP (Amélioration génétique et adaptation des Plantes) (CIRAD, INRA, SupAgro)

Porteur de projet : Françoise Dosba (Dosbaf(a)supagro.inra.fr)

Pays associé au projet : Maroc

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : DIADE

Sous-axes thématiques : BIP-1 : Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie, DSTI-3: Processus d'innovation, gestion sociale de l'innovation

Objectifs :

L'objectif de ce projet est d'identifier les processus de diversification variétale chez deux espèces fruitières méditerranéennes à forte valeur emblématique, culturelle, sociale et économique, le figuier et l'olivier. Les cultures du figuier et de l'olivier sont très anciennes en région méditerranéenne, mais ces deux espèces présentent une situation très contrastée au Maroc en termes de structuration génétique, de fonctions et d'usages. Cette situation unique et paradoxale nous amène à nous interroger sur les fondements biologiques et génétiques d'une part, et historiques, sociaux et culturels d'autre part, responsables de cette situation contrastée. Nous abordons cette question par une approche interdisciplinaire conjointe génétique et ethno-biologique. Un terrain commun aux travaux engagés, le Rif marocain permettra concrètement d'enrichir la démarche de co-construction entre ces deux disciplines.

Pour établir des bases solides de connaissances sur cette problématique deux premières actions sont envisagées sur le figuier dans le cadre de ce projet :

- 1) Vérifier l'hypothèse de l'existence au Maroc de foyers multiples de domestication locale du figuier par une approche génétique
- 2) Identifier le rôle des facteurs sociaux et culturels dans les processus de diversification du figuier du Rif

Actions menées et résultats obtenus :

La question de recherche centrale à laquelle était rattaché ce projet est axée sur la compréhension et l'identification des déterminants biologiques et sociaux des processus de diversification variétale chez deux espèces fruitières emblématiques et dotées d'un fort potentiel économique et social, le figuier et l'olivier. Dans ce projet, nous avons examiné cette question essentiellement sur le figuier, et par une approche interdisciplinaire conjointe de génétique et d'ethnobiologie.

Dans le cadre de la thèse de H. Ahtak, des prospections et échantillonnages de variétés locales et de populations spontanées (issues de semis) ont été réalisés dans six zones éco-géographiques correspondant à des agro-écosystèmes traditionnels et situés dans le nord, le centre et le sud du Maroc. Ces figuiers ont été analysés à l'aide des marqueurs microsatellites et par une approche de génétique des populations.

Dans le cadre de la thèse de Y. H'Mimsa, un total de 189 villages situés au nord du Maroc correspondant à 3 groupes socio-culturels (Jbala, Zenetes et Ghomara) a fait l'objet d'inventaire de la diversité nommée du figuier et des caractéristiques pomologiques de chaque variété. Des

entretiens semi-dirigés et des enquêtes d'ethnobiologie ont été réalisés dans le village de Talandaoued en vue d'étudier la classification des variétés de figuier.

Par l'approche ethnobiologique, nous avons montré que le figuier occupe une place centrale dans les agro-écosystèmes traditionnels de montagne tels que ceux du nord du Maroc. La diversité variétale est maintenue par des pratiques paysannes liées à l'organisation sociale, aux choix familiaux et aux modalités d'échanges du matériel végétal. En effet, la circulation des variétés se fait de proche en proche et rarement sur de longues distances. Nous avons en outre examiné le rôle de différentes formes de gestion de semis spontanés de figuiers dans les espaces cultivés et de la classification des arbres issus de semis, et avons identifié l'existence d'un processus social et technique de sélection variétale en cours au nord du Maroc (Thèse, Y. H'Mimsa).

Par l'approche génétique, nous avons montré que la domestication à partir des figuiers spontanés est très localisée (à l'échelle d'une zone géographique comme le Rif au nord ou les oasis dans le sud du Maroc). Il existe une proximité génétique entre les variétés locales et les figuiers spontanés au sein de chacune des six zones éco-géographiques étudiées en particulier dans le Rif et les Oasis. Nous expliquons cette proximité génétique par les flux de gènes mais également par les pratiques paysannes mises en évidence par les travaux d'ethnobiologie montrant l'importance des pratiques de caprification et de gestion d'arbres issus de semis aux côtés de variétés multipliées par boutures, (Thèse, H. Achatk).

Au terme de ce projet, et compte-tenu des travaux croisés entre la génétique et l'ethnobiologie, nous sommes en mesure de proposer un scénario explicatif qui mérite d'être affiné au cours des prochaines recherches en rapport avec la conservation in situ. Chez le figuier, la diversification variétale se fait via une sélection paysanne à partir de populations spontanées locales mais également par la conjugaison des facteurs biologiques, socio-culturels et économiques. Chez l'olivier le travail de thèse en cours (H. Haouane) montre que cette diversification semble être le résultat d'une domestication primaire et d'une diversification secondaire qui est facilitée par le maintien dans le domaine cultivé d'arbres multipliés végétativement et d'arbres issus de semis. Ceci montre le caractère dynamique des pratiques paysannes dans les processus de diversification variétale.

Articles :

H Achatk, A Oukabli, M Ater, S SantoniJ. F Kjellberg, B Khadari (2009) Microsatellite Markers as Reliable Tools for Fig Cultivar Identification , AMER. SOC. HORT. SCI. 134(6):624–631. 2009.

H Achatk, A Oukabli, M Ater, S SantoniJ. F Kjellberg, B Khadari (2010) Traditional agroecosystems as conservatories and incubators of cultivated plant varietal diversity: the case of fig (*Ficus carica* L.) in Morocco, BMC Plant Biology, 10:28

Perspectives :

Sur la base de plusieurs projets et de collaborations (FruitMed 901-007, GDR Mosaïque 33-53, Volubilis Ma-08-197, collaboration avec l'ICARDA), nous poursuivons nos travaux de recherche en examinant le rapport entre plantes «clonales» et plantes issues de semis dans la diversification des espèces fruitières méditerranéennes. De surcroît, nous nous interrogeons sur le rôle des politiques publiques et des nouveaux acteurs tels que les pépiniéristes dans la configuration de l'agro-diversité arborée en Méditerranée. Enfin, à l'issue de la réflexion conduite actuellement en matière d'organisation de la recherche au sein du bassin méditerranéen, nous prévoyons de proposer un projet d'envergure de type ANR sur les processus de diversification en rapport avec la conservation in situ et l'évolution des agro-écosystèmes traditionnels.

Financement total par Agropolis Fondation : 75 980 € (salaire de deux doctorants, frais de déplacement, frais de fonctionnement)

Catégorie(s) de soutien : allocation doctorale

Durée du projet : 2 janvier 2008 – 31 décembre 2010

Mots clés : diversification variétale – cultures – figuier – olivier – méditerranée

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07044 Achevé

Titre du projet : Capitalisation et renforcement des compétences scientifiques sur des méthodes d'évaluation et de développement de l'innovation en agroforesterie dans les zones tropicales humides (Afrique et Amérique centrale)

Unité responsable du projet : Innovation (Innovation dans l'agriculture et l'agroalimentaire) (CIRAD, INRA, SupAgro)

Porteur de projet : Nicole Sibelet (nicole.sibelet(a)cirad.fr)

Pays associés au projet : Madagascar, Kenya, Ouganda, Guinée, Cameroun, Ghana.

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : SYSTEM

Sous-axes thématiques : DSTI-1 : Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources, DSTI-3 : Processus d'innovation, gestion sociale de l'innovation

Objectifs :

Si l'agroforesterie est une pratique commune pour la plupart des agriculteurs du monde, son intérêt scientifique n'a été reconnu qu'à la fin des années 70. Cet intérêt est allé croissant, surtout depuis les années 90, dès que les effets de la pollution, de la perte de biodiversité ou encore des émissions de gaz à effet de serre ont commencé à s'accroître et à se faire de plus en plus sentir dans les pays industrialisés.

Les études transdisciplinaires sont nécessaires pour analyser la complexité de l'agroforesterie, qui fournit des produits et des services de différentes natures (sociale, économique et environnementale). Grâce à l'apparition de nouveaux outils (fluxmètres, méthodes isotopiques, anémomètres soniques, etc.), les études à l'échelle parcellaire, c'est-à-dire axées sur les relations de facilitation et de compétition sur, au-dessus et dans le sol, ont donné des résultats utiles pour évaluer et concevoir de nouveaux systèmes.

En socio-anthropologie, le croisement des théories du foncier et de la parenté permet aujourd'hui d'analyser les enjeux existants en matière de droits d'accès aux produits de l'agroforesterie. Les techniques de modélisation servant à synthétiser les résultats des travaux transdisciplinaires et socio-anthropologiques et à élaborer des outils d'aide à la décision restent peu nombreuses.

Ce projet vise à synthétiser les informations disponibles sur les méthodes participatives destinées à évaluer et à concevoir des systèmes agroforestiers (SAF), et à favoriser l'amélioration de cadres conceptuels en incluant l'expérience francophone de différentes unités de recherche en biophysique, agronomie et socio-économie.

Il s'agit notamment de regrouper l'expérience accumulée sur :

- les méthodes d'évaluation des connaissances des agriculteurs ;
- la caractérisation spatio-temporelle des dynamiques en œuvre dans les SAF et leurs déterminants ;
- les modèles conceptuels visant une approche systémique (pour synthétiser, comparer et faciliter les échanges d'information entre agriculteurs et experts ou scientifiques) ;
- différents modèles (biophysiques, économiques, de processus, etc.) ;
- l'évaluation des services environnementaux, dont les systèmes de paiements et les taxes en vigueur, si possible.

Actions menées et résultats obtenus :

Accueil d'un post doctorant pendant 12 mois pour le développement de recherche sur les Dynamiques spatio-temporelles des systèmes agroforestiers

Ecole thématique Méthodes des sciences humaines appliquées à l'agroforesterie

Deux projets gagnés EU 2008 FUNICTREE et ANR 2010 INTSEN&FIX

2 publications dans revues à facteurs d'impact, rapports de missions, rapports d'études produits par l'école thématique (1 rapport produit par les participant en français et en anglais + 1 rapport approfondi produit par les formatrices et deux participants) + restitution orale des résultats de l'étude auprès des acteurs locaux + évaluations + articles de presse.

Articles :

Chloe N. Marie, Nicole Sibelet, Michel Dulcire, Minah Rafalimaro, Pascal Danthu, Stephanie M. Carriere (2009) Taking into account local practices and indigenous knowledge in an emergency conservation context in Madagascar. *Biodivers Conserv*, Volume 18, Number 10, 2759-2777

Aboubacar Camara, Patrick Dugué, Jean-Paul Cheylan, Jean-Marie Kalms (2009) De la forêt naturelle aux agro-forêts en Guinée forestière. *Cah Agric*, vol. 18, n° 5

Perspectives :

1) Un elearning sur Méthodes des sciences humaines appliquées à l'agroforesterie s'est construit avec des fonds de l'UVED/CIRAD et IAMM reprenant les items de l'école thématique de 2009. Une version pilote de deux modules est en cours de test. Des développements sont prévus : traductions en anglais et en espagnol, adaptations et créations d'études de cas nouvelles et la construction d'autres modules Cet elearning pourra être utilisé notamment comme base d'appui méthodologique dans des projets pluridisciplinaires et pluripartenaires.

2) A partir de janvier 2011, constitution d'un binôme en sciences humaines entre le CIRAD et le CATIE via Nicole Sibelet et Isabel Gutierrez spécialisées sur les représentations, les savoirs locaux, les pratiques et les stratégies des acteurs face aux risques environnementaux locaux et globaux dans les systèmes agroforestiers.

Financement total par Agropolis Fondation : 148 000 € (allocation post-doctorale, frais de déplacement, transports)

Catégorie(s) de soutien : allocation post-doctorale, soutiens divers (soutien à la préparation de dossiers de candidature aux appels à projets nationaux ou internationaux, notamment ANR et UE), école thématique internationale

Durée du projet : 2 janvier 2008 – 30 novembre 2010

Mots clés : agroforesterie – innovation - école thématique internationale

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07045 Achevé

Titre du projet : Symposium international « Innovation et développement durable » 2010

Unité responsable du projet : INNOVATION (Innovation dans l'agriculture et l'agroalimentaire) (INRA, CIRAD, SupAgro)

Porteur de projet : Hubert Devautour (hubert.devautour(a)cirad.fr)

Pays associé au projet : Pays-Bas

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : DIADE, GREEN, LAMETA, MOISA

Sous-axes thématiques : DSTI-1 : Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources, DSTI-2 : Innovations agro-alimentaires, valorisation alimentaire et non alimentaire des productions végétales, DSTI-3 : Processus d'innovation, gestion sociale de l'innovation

Objectifs :

« L'innovation » est un thème de recherche abordé par différentes disciplines scientifiques, avec souvent plusieurs définitions et méthodes d'analyse. La plupart des questions et travaux s'intéressent aujourd'hui à la fois aux conditions de l'innovation, aux modalités d'engagement d'acteurs dans les processus d'innovation, aux effets des innovations dans les domaines du développement durable et aux formes possibles de leurs accompagnements publics. L'agriculture et l'agro-alimentaire occupent une place importante dans ces recherches du fait d'un nouveau contexte marqué en particulier par l'irruption de la qualité et de ses multiples définitions, l'évolution du rapport science-société et l'émergence de la question du risque, l'apparition du paradigme du développement durable.

Du fait de leurs dimensions à la fois technique, sociologique, économique, les processus d'innovations dans l'agriculture et l'agroalimentaire sont l'objet de différentes formes d'exercice de l'interdisciplinarité : appels d'offre et projets de recherche, colloques ou séminaires internationaux, ouvrages ou numéros de revue. Ces approches pluridisciplinaires de l'innovation permettent de questionner la coexistence de différents paradigmes de l'innovation, de réinterroger les finalités des acteurs qui innovent et d'ouvrir une analyse plus rigoureuse des effets de développement (sans connotation de valeur positive ou négative) de ces processus.

L'organisation de ce symposium international sur Montpellier en 2010 a pour objectifs :

- de positionner le pôle agronomique montpellierain dans des débats internationaux à la fois scientifiques et sociétaux sur l'étude des processus d'innovation, la place et le rôle de la recherche agronomique dans ces processus et les finalités et effets de ces processus sur le développement durable.
- de structurer le dialogue interdisciplinaire autour de nouvelles approches de l'innovation (recherche participative, interactions entre savoirs scientifiques et savoirs d'action par exemple) et du développement (pratiques, dispositifs et itinéraires de développement originaux et situés posant de nouvelles questions à la recherche)

Actions menées et résultats obtenus :

Suite aux différents comités scientifiques, le programme suivant a été proposé: Montpellier – Corum, 28 juin – 1er juillet 2010.

Face à la crise et aux incertitudes grandissantes, comment les sciences et les sociétés peuvent-elles réinventer les systèmes agricoles et agroalimentaires vers une plus grande durabilité?

Venez échanger avec des chercheurs et acteurs du monde entier autour de l'évolution des systèmes d'innovation, pour construire ensemble de nouvelles perspectives pour les agendas scientifiques et apporter des propositions concrètes pour l'action et les politiques.

Des personnalités reconnues donneront leur point de vue lors de conférences plénières :

- Andy Hall (United Nations University) : Questions posées par les systèmes d'innovation aujourd'hui
- Papa Seck (Africa Rice, ex-ADRAO): Comment concevoir des politiques agricoles innovantes en Afrique pour nourrir ce continent de façon durable et continue ?
- Juliana Santilli (Ministère Public du Brésil) : Innover pour valoriser l'agrobiodiversité, reconnaître les droits intellectuels collectifs et permettre plus d'équité sociale
- Lawrence Busch (Michigan State University) : Agir durablement, gouvernance par les normes à une époque de « corporate science »
- Robert Watson (DEFRA - University of East Anglia) : Repenser la recherche agronomique : perspectives de IAASTD

Des sessions parallèles permettront d'approfondir différents thèmes, par l'échange d'expériences du monde entier. 350 communications seront présentées. Venez discuter des innovations pour l'agroécologie et l'intensification écologique, l'insertion de petits producteurs, des stratégies d'adaptation face au changement, la construction sociale des normes, différents modèles de recherche participative, etc.

Lors de tables rondes, des acteurs clés partageront leurs points de vue sur les défis que la recherche doit relever.

Tables rondes parallèles :

- Les systèmes d'innovation en pratique : enjeux et perspectives. Organisée avec la Banque Mondiale
- Politiques pour encourager l'innovation : le cas de la Méditerranée. Organisée avec l'OCDE, le FIDA et ArimNet (avec le soutien d'Agropolis Fondation)
- Dynamiques régionales de l'innovation. Organisée en partenariat avec la région Languedoc-Roussillon et le projet PSDR (Pour et Sur le Développement Régional).

Table ronde finale : Perspectives pour la recherche sur les systèmes d'innovation

Perspectives :

Tenue du symposium du 28 Juin au 1er Juillet

Valorisation prévue:

Les communications seront toutes gravées sur un Cd-rom qui sera distribué lors du symposium, puis publiées en ligne en tant qu'actes du symposium. Pour chaque session, nous proposerons de réaliser des numéros spéciaux de revues internationales (anglophones, francophones et hispanophones).

Un ouvrage spécifique sera publié pour présenter une vision globale des avancées sur la problématique de l'innovation et du développement durable, comprenant les conférences et les synthèses des tables rondes et des ateliers parallèles.

Une valorisation est également prévue dans des revues grand public et professionnelles, traitant de questions politiques, de conseil et de développement. Par ailleurs, les matériaux du symposium seront réutilisés dans le cadre de formation et d'école-chercheurs pour alimenter les réflexions sur les méthodes et les pratiques de recherche, à la fois pour des chercheurs du Nord et du Sud.

Financement total par Agropolis Fondation : 30 000 € (CDD de 3 mois pour une documentaliste, frais de déplacements et d'hébergement, frais d'organisation de la réunion)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (aide à l'organisation d'évènements scientifiques de haut niveau : colloques, séminaires, ateliers etc.)

Durée du projet : 1^{er} décembre 2007 – 30 décembre 2010

Mots clés : innovation – développement durable – agronomie – sciences sociales – symposium

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07047 Achevé

Titre du projet : Croissance foliaire et déficit hydrique chez *A. thaliana* et chez le pommier : les trois dimensions

Unité responsable du projet : LEPSE (Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux) (Inra, SupAgro)

Porteur de projet : Christine Granier (granier(a)supagro.inra.fr)

Pays associé au projet : Royaume Uni

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : AGAP

Sous-axes thématiques : BIP-1 : Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie

Objectifs :

La biomasse foliaire totale d'une plante est une intégration de variables dépendant de processus élémentaires comme la production foliaire, la durée et le taux d'expansion de chaque feuille, son épaisseur, ainsi que la production et l'expansion cellulaires. Un préalable indispensable à toute approche de modélisation de la croissance d'ensemble de la plante est de comprendre comment les différentes variables de la croissance foliaire sont reliées entre elles. Jusqu'à présent, les liens causaux ou fonctionnels existant entre ces variables n'ont pas été clairement identifiés. En outre, l'échelle et le tissu au niveau desquels s'opère le contrôle de la croissance ne sont pas clairement établis.

La contribution des différents processus potentiellement impliqués dans les réponses de la croissance foliaire d'*A. thaliana* aux stress environnementaux (principalement à la sécheresse) est en cours d'évaluation au sein de l'unité de recherche LEPSE. Une plateforme de phénotypage automatisé (PHENOPSIS) a été mise en place pour cultiver les plantes dans des conditions environnementales reproductibles, en particulier dans des conditions optimales et dans un contexte de stress hydrique bien documenté.

Jusqu'à présent, la croissance n'a été considérée que comme une expansion de la surface foliaire, ensuite décomposée en un ensemble de variables sous-jacentes comme le taux et la durée d'expansion des feuilles ou le nombre et la taille des cellules épidermiques. Des relations reproductibles entre ces variables et les conditions micro-météorologiques ont pu être établies. Les feuilles croissent pourtant en trois dimensions.

Les objectifs de ce projet consistent à :

- analyser les relations entre les variables de la croissance cellulaire des feuilles ;
- identifier les liens fonctionnels qui existent entre elles ;
- évaluer leur contribution à la plasticité de la croissance foliaire en réponse à la sécheresse. À cette fin, une approche écophysiologique sera combinée avec une modélisation statistique, à la fois chez le pommier, l'un des arbres fruitiers les plus importants dans le monde sur un plan économique, et chez *A. thaliana*, plante modèle.

Des protocoles seront établis afin d'analyser de façon reproductible la superficie cellulaire, le nombre de cellules et leur volume dans les différentes couches de tissus chez les deux espèces. Des procédures d'analyse automatique de l'image seront développées pour améliorer le rendement de ces expériences. Ensuite, la croissance foliaire sera altérée par des perturbations d'ordre à la fois génétique et environnemental, en tirant profit des nombreuses ressources génétiques

disponibles pour les deux groupes (*A. thaliana* et pommier), et de la capacité du LEPSE à soumettre les plantes à des traitements de sécheresse reproductibles. Tout au long du projet, une approche de modélisation statistique sera développée afin d'analyser et d'interpréter la masse des données collectées aux différentes échelles.

L'analyse des interactions entre la plasticité de la surface foliaire et l'épaisseur des feuilles manque dans les deux études (sur *A. thaliana* et sur le pommier). Combiner l'expertise des différents partenaires en matière de croissance foliaire des dicotylédones et de modélisation statistique et fonctionnelle permettra d'élaborer un modèle de la croissance foliaire en 3D.

Actions menées et résultats obtenus :

Contexte : La croissance des feuilles peut être analysée à différentes échelles, au niveau cellulaire, des feuilles individuelles ou de la plante entière. Les études sur la croissance foliaire (que ce soit pour analyser l'effet de l'environnement sur la croissance ou pour comparer des génotypes) ont majoritairement été réalisées en collectant des données sur la surface de la feuille, le nombre et la surface des cellules épidermiques. L'épaisseur de la feuille et l'épaisseur des tissus palissadiques et mésophylliens ont rarement été considérés malgré le fait que ces tissus jouent un rôle important dans la régulation de la photosynthèse, et que leur organisation cellulaire affecte la transpiration et l'accumulation de photosynthétats. Le nombre très limité d'analyses de croissance foliaire en considérant les tissus sous-épidermiques relève certainement de verrous méthodologiques importants. Du coup, il y a très peu de connaissance sur la coordination du développement des différents tissus lors du développement d'une feuille et comment les conditions environnementales, telles le déficit hydrique du sol, affectent la mise en place de ces différents tissus.

Objectifs: Le premier objectif de ce projet était de mettre au point un protocole permettant d'analyser la croissance foliaire au niveau cellulaire, en 3 dimensions, à la fois pour des feuilles d'*Arabidopsis thaliana* et de pommiers, deux espèces avec des organisations cellulaires différentes. Dans un deuxième temps, ce protocole devait être utilisé pour analyser la croissance des feuilles de ces deux espèces en réponse à une contrainte hydrique du sol et en comparant différents fonds génétiques.

Actions et résultats: Le protocole pour l'imagerie cellulaire de la feuille en 3 dimensions et l'analyse des images en résultant a été établi et éprouvé à la fois dans les feuilles d'*Arabidopsis* et de pommier. Ce protocole a d'ores et déjà été partagé avec de nombreux autres laboratoires et a donné lieu à une publication méthodologique dans une revue internationale à comité de lecture [Plant Methods, 2010, 6: 17]. Il comprend trois phases : (1) une procédure pour fixer et préparer l'échantillon, (2) l'imagerie de cet échantillon au bi-photon et (3) l'analyse des images produites. Le protocole ainsi établi permet d'analyser de nombreux échantillons pour faire face au débit croissant des analyses de phénotypage (Phenopsis, Lepse, INRA Montpellier) [<http://bioweb.supagro.inra.fr/phenopsis/>].

Le protocole, une fois mis au point et validé, a été utilisé pour analyser la croissance des feuilles d'*Arabidopsis* et de pommiers de leur émergence jusqu'à la fin de l'expansion en prenant en compte les gradients spatiaux de développement (de la pointe à la base de la feuille, entre les différents tissus etc.). Les données collectées comportent des données de proportions de tissus, de densité cellulaire dans chaque tissu, de volume de cellules etc. Cette étude a été menée dans différentes conditions environnementales pour évaluer l'impact d'une contrainte hydrique du sol et de la durée du jour sur toutes ces variables. Dans un deuxième temps, chez *Arabidopsis thaliana*, des mutants affectés dans le métabolisme carboné ou la transpiration ont été rajoutés à ce type d'analyses.

Les expérimentations ainsi que la préparation des échantillons ont été réalisées sur le campus INRA- SUPAGRO dans les locaux du LEPSE ou de DAP. L'imagerie a été réalisée sur le microscope multiphoton (Zeiss LSM 510 Meta NLO équipé d'un Chameleon femtosecond laser) de la plateforme Montpellier RIO Imaging, au plateau PHIV du CIRAD. Les reconstructions 3D de feuilles à partir des images réalisées sur le plateau PHIV ont été réalisées grâce aux outils développés par l'équipe VIRTUAL PLANT, MedINRIA ImageViewer software (Asclepios Resaerch project, INRIA Sophia Antipolis) [<http://www-sop.inria.fr/asclepios/>]

Articles :

Wuyts N, Palauqui JC, Conejero G, Verdeil JL, Granier C and Massonnet C (2010) High-contrast three-dimensional imaging of the Arabidopsis leaf enables the analysis of cell dimensions in the epidermis and mesophyll. *Plant Methods*, 6-17

Fabre J, Dauzat M, Nègre V, Wuyts N, Tireau A, Gennari E, Neveu P, Tisné S, Massonnet C, Hummel I & Granier C (2011) PHENOPSIS DB: an Information System for Arabidopsis thaliana phenotypic data in an environmental context. *BMC Plant Biology* 11:77.

Perspectives :

Les quantités d'images produites et d'échantillons analysés dépassent largement les possibilités d'analyses et de modélisation qui ont pu être menées dans le cadre de ce projet. Les équipes engagées dans ce projet cherchent actuellement des possibilités de financement pour continuer le projet afin d'aller plus loin dans les aspects analyses et modélisation sachant que de gros jeux de données et d'images existent .

Financement total par Agropolis Fondation : 117 943 € (salaire pour un post-doctorant, frais de déplacement, frais de fonctionnement)

Catégorie(s) de soutien : allocation post-doctorale

Durée du projet : 15 mars 2008 – 1^{er} décembre 2010

Mots clés : *Arabidopsis* – pommier – croissance des feuilles – modélisation – sécheresse – stress

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07049 Achevé

Titre du projet : Animation scientifique de la communauté "biologie intégrative" de Montpellier - Perpignan – Avignon : 1^{ères} rencontres Languedoc Roussillon/Catalogne en Biologie Intégrative des Plantes

Unité responsable du projet : LEPSE (Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux) (INRA, SupAgro)

Porteur de projet : François Tardieu (tardieu(a)supagro.inra.fr)

Pays associé au projet : Espagne

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : LGDP

Sous-axes thématiques : BIP-1 : Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie

Objectifs :

Depuis de nombreuses années existe en Languedoc Roussillon et en Catalogne une forte communauté qui travaille sur le Développement et l'Adaptation des Plantes à l'Environnement. Des liens ont toujours existé entre nos deux communautés, concrétisés notamment par un LEA (Laboratoire Européen Associé) qui a associé pendant 12 ans le LGDP (UMR CNRS 5096) et le centre du CSIC, à Barcelone. Dans un effort de coordination et de regroupement, les communautés « végétalistes » se sont structurées dans chaque région autour de l'IFR 127 DAPHNE d'une part et du Consortium CSIC-IRTA, un nouvel Institut dirigé par P. Puigdomenech réunissant les chercheurs du CSIC, de l'IRTA et de l'Université de Barcelone d'autre part. Nous avons ainsi une opportunité de créer un pôle transrégional de taille européenne en Biologie Intégrative des Plantes.

L'objectif de ce projet est de réunir pour la première fois l'ensemble des équipes de l'IFR 127 DAPHNE et du Consortium CSIC-IRTA-UB, dans le cadre des **1^{ères} Rencontres Languedoc Roussillon – Catalogne** en Biologie Intégrative des Plantes. Cette 1^{ère} réunion est organisée par Manuel Echeverria (directeur LGDP UMR 5096) et Pep Casacuberta (Consortium-CSIC). Elle réunira environ 150 chercheurs, enseignants chercheurs et étudiants de l'IFR et du Consortium le 3 et 4 décembre 2007 à Banyuls sur mer (à mi-chemin entre Montpellier et Barcelone). Une série d'exposés réalisée par des chercheurs et groupes leaders de différents laboratoires de l'IFR et le Consortium permettront de dresser un tableau précis donner une bonne vision des objectifs et des travaux réalisés dans nos deux communautés.

Ceci devrait permettre de générer une dynamique d'interaction entre nos communautés dans le but de développer des projets communs dans le domaine de la biologie intégrative, d'intérêt fondamental pour notre région trans-pyrénéenne, tout en ayant un poids majeur au niveau européen.

Actions menées et résultats obtenus :

Les 1^{ères} Rencontres Languedoc Roussillon – Catalogne en Biologie Intégrative des Plantes sur le thème « Aspect moléculaires et génétiques du développement des plantes et leur adaptation aux stress » ont été réalisées dans le but de favoriser les contacts et les échanges entre les communautés scientifiques du Languedoc –Roussillon et de la Catalogne, et de contribuer à l'émergence d'un pôle européen fort dans ce domaine.

Cette 1^{ère} rencontre s'est tenue sur le site du Laboratoire Arago à Banyuls sur Mer, les 3 et 4 décembre 2007, et a rassemblé 110 chercheurs et étudiants de Barcelone, Cabriels, Perpignan, Montpellier et Avignon. Elle a permis, au travers d'une vingtaine d'exposés, d'illustrer quelques-uns des travaux les plus marquants des équipes.

Ceci a amené à établir des contacts et des liens qui devraient se renforcer à l'avenir et porter leurs fruits en termes de projets, de collaborations et d'échanges d'étudiants ou de post-doctorants.

Perspectives :

Ces 1ères rencontres ont été appréciées par l'ensemble des participants et ont largement rempli leurs objectifs. De ce fait, et avec l'appui de l'ensemble de la communauté scientifique, nous avons décidé de poursuivre cette manifestation par l'organisation des 2èmes Rencontres Languedoc Roussillon – Catalogne en Biologie Intégrative des Plantes. Elles devraient avoir lieu en Espagne.

Financement total par Agropolis Fondation : 8,077 € (frais de déplacement, location de salle, restauration)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (aide à l'organisation d'évènements scientifiques de haut niveau : colloques, séminaires, ateliers etc)

Durée du projet : 26 octobre 2007 – 1^{er} mars 2008

Mots clés : biologie intégrative – colloque – trans-disciplinarité

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07051 Achevé

Titre du projet : XIIIème congrès mondial de l'eau, Montpellier, 1-4 septembre 2008
--

Unité responsable du projet : LISAH (Laboratoire d'étude sur les Interactions entre Sols, Agrosystème et Hydrosystème) (INRA, IRD, SupAgro)

Porteur de projet : Marc Voltz (voltz(a)supagro.inra.fr)

Pays associés au projet : Australie, Tunisie

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : AGAP, DIADE, ECO&SOLS, EMMAH, GREEN, INNOVATION, LEPSE, PSH, SYSTEM.

Sous-axes thématiques : BIP-1 : Génétique et génomique, amélioration des plantes, écophysiologie, BIP-2: Maladies et ravageurs des plantes, protection intégrée des cultures, écologie des populations, DSTI-1: Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources, DSTI-2: Innovations agro-alimentaires, valorisation alimentaire et non alimentaire des productions végétales, DSTI-3: Processus d'innovation, gestion sociale de l'innovation

Objectifs :

L'objectif du XIIIème Congrès Mondial de l'Eau, organisé sous l'égide de l'*International Water Resource Association* (IWRA) au Corum de Montpellier du 1^{er} au 4 septembre 2008, était de contribuer à accroître les connaissances sur l'impact du changement climatique mondial sur les ressources en eau, et d'en améliorer la prise de connaissance par les sociétés. C'est une occasion unique de provoquer le dialogue entre partenaires publics et privés, entre usagers et décideurs, et entre pays en développement, émergents et développés. Pour remplir ces objectifs, le Congrès organisera de nombreuses conférences de haut niveau, des sessions scientifiques ordinaires, des sessions spéciales, des sessions de posters, des expositions techniques (matériel, ouvrages et revues) et des visites techniques.

Dans ce cadre, ce projet vient soutenir l'organisation du ce congrès. Agropolis Fondation contribue au budget total du congrès, et à l'organisation d'une session spéciale traitant de thèmes intéressant les unités scientifiques portées par la Fondation.

Le thème général choisi pour le congrès de Montpellier est « *changements globaux et ressources en eau : confronter l'augmentation et la diversification des pressions* ». Le congrès est ouvert à tous les acteurs de l'eau : chercheurs, collectivités, industriels, associations, organisations internationales, etc.

A Montpellier, des actions spéciales permettront une ouverture vers le grand public et vers les jeunes : exposition « L'eau pour tous » (Cité des Sciences et de l'Industrie), conférences, dessins et peinture, spectacles, festival de films de court métrage, etc.

Actions menées et résultats obtenus :

Pour effectuer une synthèse des recherches les plus avancées dans ce domaine et pour stimuler une discussion entre spécialistes des différentes disciplines scientifiques concernées, une session spéciale a été organisée dans le cadre du Congrès Mondial de l'Eau qui s'est tenu à Montpellier en septembre 2008 et a regroupé des spécialistes des sciences hydrologiques au sens large de l'ensemble de la planète. Les thèmes de recherche qui ont été abordés concernaient l'amélioration des plantes, l'ingénierie des systèmes de culture, les aménagements des bassins versants et les approches de négociation de la gestion de l'eau et des paysages entre acteurs.

Le programme de la session a consisté en 5 conférences de synthèse et une table ronde introduite par 3 intervenants.

Conférences:

1. Améliorer les plantes pour la sécheresse: comment développer des cultivars tolérant à la sécheresse et efficaces en termes d'utilisation de l'eau. Perspectives et limites. Speaker : François Tardieu, INRA, UMR LEPSE, Montpellier
2. Concevoir des cultures pour une augmentation de la productivité de l'eau – Modélisation G*M*E. Speaker: Graeme HAMMER, University of Queensland, Australia.
3. Optimiser les systèmes de culture pour une gestion durable de l'eau en agricultures pluviales et irriguées : modélisation intégrée aux échelles de la parcelle et de l'exploitation agricole. Speakers : Jacques-Eric Bergez, INRA UMR AGIR, Toulouse, France, François Affholder CIRAD, Montpellier, France
4. Techniques de conservation et de collecte des eaux aux échelles de la parcelle et du bassin versant : état de l'art et nouveaux enjeux de recherche. Speakers : Jean Albergel, IRD, UMR LISAH, Nairobi, Kenya et Nathalie Gomes, IRD, Kenya
5. Modélisation participative de la demande d'eau agricole à l'échelle régionale : un exemple en Tunisie centrale. Speakers : M. Le Bars, IRD, UMR G-EAU, Montpellier, France); Ph. Le Grusse, CIHEAM-IAMM, UMR G-EAU, Montpellier.

Table ronde

Intervenants : Australie: Graeme HAMMER, Université of Queensland - France, Bernard Itier, INRA, Grignon - Tunisie: Netij Ben Mechlia, INAT, Tunis

Modérateurs : Jacques Wery, SupAgro, UMR System, Montpellier, France - Thierry Simonneau, INRA, UMR LEPSE, Montpellier.

Au contraire des conférences qui ont abordé les enjeux et les perspectives d'approches disciplinaires ciblées pour l'amélioration de la productivité de l'eau dans les systèmes de culture et de gestion des milieux cultivés, la table ronde a comparé et évalué les mérites et potentiels des diverses approches dans différents contextes géographiques et nationaux. A cet effet, trois intervenants, provenant d'Australie, de France et de Tunisie ont introduit la discussion en présentant les enjeux principaux et les pistes de recherches ressenties comme les plus pertinentes dans leurs pays, en matière de disponibilité en eau et de productivité pour la production agricole.

Au total, la session a permis d'identifier plusieurs enjeux de recherche qui devraient guider les collaborations futures entre agronomes, hydrologistes et économistes :

1) Le premier enjeu est le besoin de passer de l'élaboration d'études analytiques à des études systémiques. Les études des sols, du cycle hydrologique et du fonctionnement végétal devraient converger vers des études intégrées visant la définition de combinaisons optimales Génotype X Système de culture X Gestion de l'eau qui maximise la production et les services environnementaux en fonction de scénarios spécifiques de sécheresse et de conditions de milieu.

2) Le second enjeu est de passer d'études sectorielles et d'échelles spatiales données à des études intégrées multi-échelle afin de définir des stratégies de gestion durable des systèmes agricoles régionaux. Parmi les questions à aborder on peut citer les suivantes:

- comparaison de stratégies (amélioration génétique, succession de cultures, conservation des eaux) pour économiser l'eau, améliorer la productivité de l'eau.
- étude multicritère des innovations à différentes échelles
- recherche de systèmes procurant de la résilience au travers de la diversité des cultures et de la flexibilité de la gestion de l'eau
- recherche de systèmes de culture fondés sur l'analyse des risques et la prévision climatique

3) développer une gamme de modèles et méthodes notamment pour

- la modélisation intégrée couvrant les échelles spatiales concernées et l'ensemble des dimensions nécessaires à la durabilité des systèmes

- les modélisations ciblées pour des usagers et usages spécifiques
- l'organisation de la collecte des données et leurs échanges inter-disciplinaires

Perspectives :

Elles sont relatives à la conception de projets de recherche pluri-disciplinaires mettant en tout ou partie les principales conclusions de la session en termes de pistes de recherche à favoriser. Les unités impliquées dans l'organisation de la session ainsi que les intervenants étrangers sollicités sont des partenaires potentiels de ces projets. Un premier cadre programmatique pourrait être la mise en place de tels projets au sein du programme d'étude de l'évolution et de la durabilité des éco-anthroposystèmes méditerranéens continentaux (SICMED) en cours de mise en place par l'INRA, l'IRD et l'INSU.

Financement total par Agropolis Fondation : 12 632 € (frais d'inscription, de déplacement et de séjour de 10 intervenants)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (aide à l'organisation d'évènements scientifiques de haut niveau : colloques, séminaires, ateliers etc.)

Durée du projet : 2 janvier 2008 – 30 novembre 2008

Mots clés : eau – congrès – conférence - changement climatique

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07054 Achevé

Titre du projet : Analyse numérique de la stabilité d'une pente forestière intégrant la dynamique spatiotemporelle du peuplement

Unité responsable du projet : AMAP (botanique et bioinformatique de l'Architecture des Plantes) (CIRAD, CNRS, INRA, IRD, UMII)

Porteur de projet : Thierry Fourcaud (thierry.fourcaud(a)cirad.fr)

Pays associé au projet : Togo

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : ECO&SOLS, SYSTEM

Sous-axes thématiques : DSTI-1: Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources

Objectifs :

Dans de nombreuses régions du monde, l'augmentation des précipitations liée aux changements climatiques accroît considérablement les risques de glissement de terrain. Dans les pays du sud, ces risques sont aggravés par les fortes pressions exercées sur les sols par l'agriculture locale et les politiques d'aménagement. L'émergence de questionnements sur la meilleure façon de gérer durablement les sites exposés à de tels risques fait l'objet d'un thème de recherche appelé « éco-ingénierie de la stabilité des pentes ».

Le Togo est confronté à de graves problèmes de glissements de terrains dans la partie méridionale de la chaîne montagneuse Atakora. Depuis les années 70, de grandes surfaces de forêts ont été défrichées au profit de la culture du café, cacao, coton et de cultures vivrières. L'exploitation du bois d'oeuvre et du bois de chauffe ainsi que le prélèvement intensif de plantes destinées à la pharmacopée traditionnelle ont conduit à la dégradation de la végétation, à la perte de fertilité des sols, à l'érosion, aux glissements de terrains et à l'envasement des cours d'eau par sédimentation des particules érodées. Le Togo se trouve donc aujourd'hui confronté à un défi de taille majeure : restaurer et réhabiliter les sols dans les zones d'altitude. Pour ce faire, de nouveaux programmes de reboisement, d'aménagements et de restauration des sols en pente ont été initiés, soutenus par les pouvoirs publics, des ONG et les Associations de Village. Ces programmes sont financés par l'Organisation Internationale des Bois Tropicaux. Pour élaborer les plans directeurs des travaux, il est nécessaire de disposer de données sur l'intensité de la dégradation des sols et la capacité des différentes espèces locales à renforcer et à conserver les pentes. Ces données font actuellement défaut.

La mise en place d'une végétation adaptée constitue une alternative écologique aux structures traditionnelles utilisées par les géotechniciens (filets, géotextiles, etc.). En effet les racines augmentent la cohésion du sol de part leur résistance à la traction et les propriétés d'adhésion et de friction de l'interface racine-sol. La végétation modifie par ailleurs le régime hydraulique de la pente via différents processus d'interaction entre le sol et les plantes. La contribution des racines à la stabilité des pentes est de plus en plus étudiée. Cependant les modèles anciens considèrent des végétations spatialement homogènes dans des plans parallèles à la surface du terrain. Ces modèles ne sont pas adaptés à une situation de forêt où la distribution des racines est hétérogène au niveau individuel et de la pente.

Nous avons développé au laboratoire un modèle « Eléments Finis » de stabilité des pentes. Cet outil d'analyse prend en compte la structure 3D d'un peuplement forestier, et permet de quantifier la contribution des systèmes racinaires d'arbres forestiers à la stabilité des sols en pentes, en tenant compte de la structure forestière (densité, distribution spatiale des espèces et de leur système racinaire). L'objectif du présent projet est d'intégrer les aspects spatio-temporels de la

croissance des arbres et de leurs racines (en intégrant les processus hydrologiques) afin d'évaluer l'impact de gestions forestières sur le renforcement des pentes à long terme.

Actions menées et résultats obtenus :

Ce projet a permis de mettre en place une batterie d'outils numériques et de modèles 2D et 3D (basés sur la méthode des éléments finis, MEF) permettant d'analyser de façon générique l'influence de la végétation sur la stabilité des pentes. Ces outils et modèles prennent en compte les effets mécaniques (renforcement du sol par les racines) et hydrologiques (influence des racines sur la conductivité hydraulique du sol et sur l'état hydrique de la pente). Ils ont été utilisés dans le cadre d'études menées au Togo (résultats non publiés) et sur le plateau du Loess en Chine (résultats en cours de publication).

Les actions réalisées concernent les points suivants :

Action 1- Développement d'une librairie d'outils (sous forme de scripts en langage Python) sous le code de calcul MEF Abaqus permettant de modéliser une pente forestière et de déterminer son degré de stabilité. Cette librairie est constituée principalement : 1- d'un constructeur de pente générique qui permet de paramétrer une pente rectilinéaire (profil, angle, hauteur, ...) et de lui associer des propriétés physico-mécaniques ; 2- d'un générateur de peuplement qui permet de paramétrer les compartiments racinaires en fonction de l'espèce (représentation volumique demi-sphère, cône ou cylindre ; dimensions ; cohésions additionnelles associées) et de distribuer les arbres sur la pente selon des motifs réguliers (rangées d'arbres) ou aléatoires ; 3- d'un gestionnaire d'analyses qui permet de lancer des simulations successives pour la détermination du facteur de sécurité (méthode de réduction de la cohésion) et de réaliser des études de sensibilité aux différents paramètres géométriques et mécaniques ; 4- d'un extracteur de données permettant de déterminer le facteur de sécurité de la pente, la profondeur de la surface de rupture et le volume de sol mobilisé à partir des résultats de simulations ;

Action 2- Développement d'un module permettant de lire des données racinaires (données de terrain, extraction de résultats de simulation d'architectures racinaires sous le simulateur AMAPsim, ...) à partir d'un domaine discrétisé en espaces voxels. Cet outil permet de définir des cartographies continues de cohésions additionnelles (via les densités racinaires) qui se superposeront aux propriétés initiales du sol nu aux échelles de l'individu ou de la pente. Ce travail est encore en cours et les futurs résultats feront l'objet d'une publication.

Action 3- Analyse numérique de l'impact de scénarios variés de reforestation des pentes en tenant compte de la morphologie des systèmes racinaires, des dimensions du système racinaire, de la structure et de la densité du peuplement. Le modèle et les résultats de l'analyse numérique ont fait l'objet d'un article accepté dans *Ecological Engineering*. Les résultats ont permis de quantifier les rôles relatifs des motifs racinaires et de plantation sur le renforcement des sols en pente.

Action 4- Prise en compte des facteurs hydrologiques dans le modèle numérique. Il s'agit de coupler les équations d'écoulement et de la mécanique du sol pour l'analyse de la stabilité de la pente. L'objectif final est de prendre en compte l'effet de la végétation sur le régime hydrique de la pente et son impact relatif sur son facteur de sécurité. Ce travail est en cours de finalisation dans le cadre de la thèse de Mlle Jinnan Ji (co-tutelle Université Montpellier 2 et Beijing Forestry University), 2008-2011).

Action 5- Applications à des cas d'étude au Togo et en Chine. Des études ont été réalisées sur des sites togolais et sur le plateau du Loess en Chine (thèse de Jinnan Ji). Elles avaient pour objectif de quantifier et spatialiser les propriétés d'enracinement (biomasse, nombre de racines, « root area ratio » RAR) dans des contextes de forêts de monoculture. Ces données ont été complétées par des essais de résistance à la tension menés en laboratoires et utilisés pour calculer la cohésion additionnelle. Ces informations ont ensuite été intégrées dans le simulateur de stabilité des pentes afin de quantifier leur contribution à l'augmentation du facteur de sécurité. La campagne de mesure effectuée en Chine a également permis de définir des corrélations entre la densité racinaire et la conductivité hydraulique du sol. Ces résultats permettront de calibrer le modèle d'hydrologie développé dans le cadre de la thèse de Jinnan Ji (cf action 5).

Articles :

Adzo Dzifa Kokutse, Alexia Stokes, Nomessi Kuma Kokutse, Kouami Kokou (2010) Which factors most influence heartwood distribution and radial growth in plantation teak? Ann. For. Sci. 67 (2010) 407

Ji, J.N., Kokutse, N., Zhang, Z.Q., Fourcaud, T., 2010. Towards a numerical simulation model of short-term impact of forested hillslope stability under rainfall condition. In: Chen, S.-C. (Ed.), INTERPRAEVENT 2010. International Research Society INTERPRAEVENT, pp. 446-453.

Perspectives :

Action 6- Mise en place de nouveaux projets (Master, thèse, Projet de coopération scientifique interuniversitaire AUF) et renforcements de partenariats: Appui au présent projet RTRA et cadre pour la poursuite des travaux futurs avec l'Université de Lomé (Faculté des sciences, Faculté agronomie, Ecole nationale supérieure d'ingénieurs), la Beijing Forestry University, l'Université d'Abomey Calavi (Bénin).

Financement total par Agropolis Fondation : 120 000 € (salaire du post-doctorant, frais de déplacement et mission)

Catégorie(s) de soutien : Allocation post-doctorale

Durée du projet : 1^{er} mars 2008 – 1^{er} juillet 2010

Mots clés : simulation – modèle – racines – agriculture – changement climatique – forêt – Togo

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07057 Achevé

Titre du projet : Préparation d'une démarche de Construction de Systèmes d'Intensification Agro-écologique Innovants pour contribuer à une Agriculture plus Durable (C-SIAD)

Unité responsable du projet : INNOVATION (Innovation dans l'agriculture et l'agroalimentaire) (INRA, CIRAD, SupAgro)

Porteur de projet : Bernard Triomphe (bernard.triomphe(a)cirad.fr)

Pays associés au projet : Brésil, Pays Bas, Burkina-Faso, Mali, Madagascar, Zimbabwe

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : GREEN, SYSTEM

Sous-axes thématiques : DSTI-1 : Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources, DSTI-3 : Processus d'innovation, gestion sociale de l'innovation

Objectifs :

Au Nord comme au Sud, sous la pression combinée des évolutions des sociétés, du système économique mondial et du climat, les agricultures traversent des crises écologiques et économiques se traduisant localement par des dégradations des ressources naturelles (sols, eaux, air, biodiversité), une augmentation des coûts des facteurs de production tels qu'intrants, énergie, main d'œuvre. Ces crises affectent particulièrement les agriculteurs les plus démunis et les moins organisés, menaçant directement leur sécurité alimentaire et leur capacité à assumer leur part dans la reproduction des services écologiques assumés par les espaces ruraux et écosystèmes dont ils sont de fait les principaux garants. Dans le même temps, les systèmes classiques de recherche agronomique et de conseil agricole, souvent significativement affaiblis par le désengagement des Etats du financement des institutions correspondantes, peinent à renouveler leurs paradigmes et leurs modes d'intervention, encore largement inspirés de ceux élaborés et mis en œuvre lors de la révolution verte au lendemain de la seconde guerre mondiale, tout en pâtissant toujours plus des conséquences d'une spécialisation disciplinaire grandissante. Entre autres conséquences, cette évolution se traduit par une fragmentation des recherches agronomiques, une relative pauvreté des innovations proposées dans le domaine de l'agriculture écologique, et nonobstant les efforts des tenants de la recherche participative ou de la recherche-intervention, des difficultés récurrentes de dialogue entre la recherche et les usagers dans leur diversité, rendant difficile et lente la résolution des grands défis liés au renouvellement des relations Nature-Sociétés.

L'objectif du projet est de concevoir et mettre en œuvre de manière articulée des dispositifs, démarches et méthodes de recherche permettant (1) de caractériser le fonctionnement et l'impact d'innovations systémiques favorisant l'intensification écologique et (2) d'accompagner leur émergence au sein des sociétés rurales du Sud et du Nord.

Actions menées et résultats obtenus :

Le projet PEPITES (Processus écologiques et processus d'innovation technique et sociale en Agriculture de Conservation (AC) a été soumis avec succès à l'AO ANR SYSTERRA en avril 2008. Son objectif est de produire des connaissances sur les processus écologiques, les processus d'innovation technique et sociale, et leurs interactions, pour évaluer et concevoir des systèmes techniques et des dispositifs d'accompagnement plus durables. Ses échelles de travail incluent le sol, la plante, les systèmes de culture, l'exploitation agricole et les réseaux socio-techniques. Il concerne 4 terrains: deux en France (grandes cultures, agriculture biologique), et deux au Sud (Brésil, Madagascar). Ses principaux partenaires sont des UR de l'INRA, du CIRAD, d'AgroParisTech, de l'IRD ainsi que de l'ISARA-Lyon. Il a démarré officiellement en janvier 2009, pour une durée de 4 ans, sous la coordination conjointe de Stéphane de Tourdonnet (AgroParisTech), Eric Scopel et Bernard Triomphe (CIRAD).

Deux projets de type CSA (Coordinating and Support action) ont été soumis avec succès à l'AOF7-KBBE-2009-03 du 7ème PCRD en début 2009. Le premier, CA2Africa (Conservation Agriculture in AFRICA: Analysing and Foreseeing its Impact - Comprehending its Adoption), coordonné par Marc Corbeels (CIRAD) porte sur la même technique (l'Agriculture de Conservation) que PEPITES et permettra d'approfondir les aspects de modélisation, en évaluant les avantages et limites de différents types de modèles dans un contexte africain. Son objectif est d'évaluer et d'apprendre collectivement sur la base d'une série d'expériences passées et en cours avec le développement des techniques d'AC sous quelles conditions et dans quelle mesure l'AC permet de renforcer la position socio-économique des paysans africains. CA2AFRICA travaillera via des plateformes régionales à travers toute l'Afrique. Ses partenaires incluent le CIRAD, des équipes européennes (ZALF, WUR, CSIC), des centres du CGIAR (CIAT-TSBF, CIMMYT, ICARDA) et des équipes africaines (ACT, INERA-burkina Faso, INRA-Maroc).

Le 2ème projet FP7, JOLISAA (JOint Learning about Innovation Systems in African Agriculture), coordonné par Bernard Triomphe (CIRAD) porte en partie sur des processus et systèmes d'innovation multi-partenaires eux-aussi abordés dans PEPITES, et dans une moindre mesure dans CA2Africa. Son objectif est de mieux comprendre les systèmes d'innovation agricole centrés sur les systèmes d'activités des petits agriculteurs africains et l'articulation des savoirs locaux, traditionnels et globaux. Il concerne 3 terrains en Afrique: Kenya, Bénin et Afrique du Sud, qui seront abordés via des études de cas concernant des types d'innovation variés. Ses partenaires incluent 4 institutions européennes (CIRAD, WUR-LEI, ETC, ICRA) et 3 institutions africaines (Université de Prétoria en Afrique du Sud, Université Abomey-Calavi au Bénin, KARI au Kenya).

Perspectives :

Les perspectives résident dans la mise en œuvre ordonnée de ces projets au cours des prochaines années, en jouant chaque fois que cela sera possible sur les synergies entre partenaires, tâches et entre terrains.

Financement total par Agropolis Fondation : 28 200 € (CDD de 4 mois, mission de 8 jours, ateliers de travail)

Catégorie(s) de soutien : soutiens divers (soutien à la préparation de dossiers de candidature aux appels à projets nationaux ou internationaux, notamment ANR et UE)

Durée du projet : 2 janvier 2008 – 31 décembre 2009

Mots clés : Intensification écologique – innovation – agriculture – recherche agronomique

Année de l'AAP : 2007

Projet N° 07058 Achevé

Titre du projet : Comprendre l'émergence des maladies infectieuses : liaison entre l'évolution du génome et l'évolution de la virulence d'un phytovirus dans la phase d'adaptation à son hôte

Unité responsable du projet : BGPI (Biologie et Génétique des Interactions Plantes/Pathogènes) (INRA, CIRAD, SupAgro)

Porteur de projet : Rémy Froissart (remy.froissart(a)supagro.inra.fr)

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : LEPSE, LGDP, Protéomique

Sous-axes thématiques : BIP-2 : Maladies et ravageurs des plantes, protection intégrée des cultures, écologie des populations

Objectifs :

L'expression phénotypique des mutations est particulièrement importante pour comprendre les processus vitaux, notamment s'agissant de l'évolution des pathogènes. Dans les virus, l'expression phénotypique d'une mutation peut se manifester non seulement par des symptômes, mais aussi par les niveaux de fitness du virus (capacité reproductive d'un génotype) et de virulence (baisse de fitness de l'hôte). Ces dernières années, les séquences nucléotides complètes, les transcriptomes et les protéomes des organismes vivants sont devenus de plus en plus disponibles. Néanmoins, les techniques en question montrent un instantané d'un génome : elles ne donnent aucune indication sur la cinétique d'accumulation des mutations ou sur l'expression phénotypique des mutations dans des environnements différents. L'étude de l'expression phénotypique est importante dans la mesure où la sélection naturelle agit sur l'expression phénotypique des mutations dans des environnements aussi bien constants que variables.

Notre projet se propose de combler ce vide en se concentrant sur trois objectifs :

- caractériser l'expression phénotypique des mutations adaptatives ;
- évaluer le rôle de la nature des interactions entre mutations dans la cinétique d'accumulation des mutations adaptatives ;
- déterminer l'implication des interactions génotype x environnement dans la fixation des mutations adaptatives.

Nous étudierons l'évolution expérimentale du virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV, Caulimovirus). Le CaMV est un modèle biologique approprié, car nous connaissons bien son cycle biologique, et parce qu'il présente un taux d'évolution élevé et une large gamme d'hôtes. Les populations virales seront transmises d'une plante à l'autre sur au moins 200 générations (\pm 200 jours) soit dans deux environnements homogènes (*Arabidopsis thaliana* ou *Nicotiana bigelovii*), soit dans un environnement variable (alternance des deux espèces). Le CaMV étant facile à manipuler (clonage, séquençage, etc.), nous pourrions aisément déterminer la cinétique d'accumulation des mutations adaptatives et tester l'expression phénotypique de chacune de ces mutations individuellement ou en combinaison dans tous les types d'environnement. Nous travaillerons uniquement sur les mutations qui apparaissent parallèlement dans les populations indépendantes soumises à la même pression de sélection directionnelle, comme l'adaptation à un environnement. De plus, nous mettrons en corrélation l'expression phénotypique des mutations adaptatives du virus et les modifications du transcriptome et du protéome d'*A. thaliana* en comparant les niveaux d'expression des gènes et des protéines après inoculation par des génotypes viraux évolués ou non évolués.

Actions menées et résultats obtenus :

Nous avons mis en place une évolution expérimentale in vivo du virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV). Des populations virales ont ainsi été transmises de plante à plante dans deux environnements constants (transmission uniquement dans *Arabidopsis thaliana* ou *Nicotiana bigelovii*) et dans un environnement à variabilité temporelle (transmission alternativement dans les deux espèces végétales). Pour chacun de ces trois traitements, nous avons initié 10 populations virales indépendantes qui évoluent en parallèle. Nous avons par ailleurs mis en place une quantification d'ADN viral standardisée par une quantification du nombre de gène d'actine ainsi qu'une méthode non destructrice d'évaluation de l'impact de l'infection virale sur le développement de la plante (mesure de l'évolution de la surface foliaire).

Après cinq passages de plante à plante, nous avons pu détecter des mutations dans différentes populations. Par contre, après 10 passages, nous n'avons plus observé les mutations observées après 5 passages. De plus, l'évaluation de l'accumulation virale in planta ainsi que la virulence (i.e. réduction de la surface foliaire) des populations virales ayant subi des passages en série n'a pas permis de mettre en évidence des changements phénotypiques particuliers à l'adaptation à un environnement ou un autre (forte variance). Il semble donc que les mutations s'accumulent dans les populations virales de manières transitoires. L'ensemble de ces résultats suggèrent que, dans nos conditions, la taille efficace (N_e) des populations de virus de plante est relativement faible (fixation rapide de mutations spontanées), ne laissant pas ainsi place à la sélection pour agir et permettre aux mutations adaptatives de se fixer dans les populations. Une autre hypothèse suggère que le temps d'accumulation des mutations adaptatives est plus long que celui des mutations spontanées et qu'il faudrait continuer les passages en série plus longtemps pour pouvoir observer des patterns contrastés entre les différents environnements.

Perspectives :

Mesurer la taille des populations intra-hôtes du CaMV et mesurer le taux de mutations

Financement total par Agropolis Fondation : 120 000 € (salaire pour un post-doctorant, frais de fonctionnement)

Catégorie(s) de soutien : allocation post-doctorale

Durée du projet : 1^{er} mars 2008 – 31 mai 2011

Mots clés : virus – adaptation – mutation – pathogène – *Arabidopsis* – phénotypique – fitness – virulence – évolution – virus de la mosaïque du chou-fleur

Année de l'AAP : 2007

Project N° 07059 Achevé

Titre du projet : Modéliser l'architecture de la canopée pour améliorer la description génotype-environnement par télédétection
--

Unité responsable du projet : EMMAH (Environnement Méditerranéen et modélisation des agro-hydrosystèmes) (INRA)

Porteur de projet : Frédéric Baret (baret(a)avignon.inra.fr)

Pays associé au projet : Espagne

Unités de recherche du réseau scientifique d'Agropolis Fondation associés : LEPSE, LISAH

Sous-axes thématiques : DSTI-1: Innovations agro-environnementales, agro-écosystèmes, gestion des ressources

Objectifs :

Le développement durable s'appuie sur l'utilisation de techniques qui préservent l'environnement tout en satisfaisant aux besoins des principales activités humaines. La gestion de l'agriculture et des écosystèmes joue évidemment un grand rôle dans un tel dispositif. Les modèles de fonctionnement de la végétation fournissent des outils pratiques et efficaces pour évaluer l'empreinte écologique de la gestion du paysage et des pratiques agricoles. Ils peuvent être employés à des fins tant diagnostiques que pronostiques sur de larges superficies et fournissent des informations originales. Néanmoins, leur utilisation est actuellement limitée, car ils nécessitent de rentrer de nombreux paramètres, dont beaucoup sont mal connus et varient dans le temps et dans l'espace. La télédétection offre la possibilité d'observer fréquemment (tous les 5 ou 10 jours) de vastes superficies à une résolution spatiale décimétrique. Bien que la voie menant à combiner modèles de culture et observations par télédétection semble toute tracée, les progrès ont été ralentis par le manque d'adéquation entre la façon simple dont les modèles de culture décrivent l'architecture de la végétation et sa dynamique, d'une part, et les exigences élevées liées à la transformation du signal de télédétection en variables réelles sur l'état de la végétation à l'aide de modèles de transfert radiatif, d'autre part.

Ce projet vise à développer et à évaluer l'intérêt qu'il y a à combiner des modèles formels (architecture de la canopée) et fonctionnels (fonctionnement de la canopée), afin de mieux relier les observations obtenues par télédétection au fonctionnement du couvert et permettre une meilleure description génotype-environnement sur de grandes superficies. Il contribuera à offrir des outils d'aide à la décision pour une gestion de l'agriculture et du paysage en faveur du développement durable. Il préparera également des algorithmes d'interprétation pour l'exploitation des satellites d'étude des ressources terrestres de nouvelle génération, qui seront opérationnels au début de la prochaine décennie dans le cadre de l'initiative européenne de Surveillance globale pour l'environnement et la sécurité (GMES).

Le projet démontrera le bien-fondé de son approche en s'appuyant plus particulièrement sur une culture méditerranéenne : la vigne. Celle-ci a en effet déjà été étudiée par nos partenaires dans une perspective de modélisation de la végétation (STICS-vigne), de description de son architecture et de télédétection. Elle présente l'intérêt d'avoir une architecture de complexité moyenne.

Le projet construira principalement la chaîne des modèles couplés : transfert radiatif, architecture de la canopée et fonctionnement de la végétation.

Actions menées et résultats obtenus :

Revue de la littérature sur les deux aspects suivants: (i) Architecture de la vigne et modélisation et (ii) adaptation des modèles de fonctionnement à la vigne. Cette revue nous a permis d'identifier des travaux importants qui ont été utilisés dans les travaux présentés ci-dessous :

Développement d'un modèle d'architecture 4D de la vigne à partir des données expérimentales obtenues par Louarn (2005). Le modèle décrit l'architecture 3D à différents moments de la phénologie à partir d'un nombre réduit de paramètres et variables architecturales et botanique/physiologique. La version actuelle, implémentée en matlab, permet de simuler de manière continue l'architecture 3D de la vigne depuis le débourrement jusqu'à la période de développement végétatif maximal. Ce modèle permet de prendre en compte de manière réaliste la conduite de la culture, en particulier l'effeuillage/rognage. Le modèle ne prend pas encore en compte la sénescence.

Développement d'un modèle paramétrique de transfert radiatif, basé sur la paramétrisation des coefficients de diffusion estimés par lancer de rayon sur le modèle 4D de vigne.

Couplage du modèle architectural de vigne avec un modèle de fonctionnement (bilan hydrique) adapté à la vigne, en permettant de modéliser sa dynamique foliaire dans différents scénarios de stress hydrique.

Validation du modèle d'architecture+stress en mode direct avec données de surface foliaire mesurées en parcelles expérimentales. Les résultats générés par le modèle ont été cohérentes par rapport aux données réelles.

Analyse exploratoire sur l'effet de l'architecture de la vigne dans la radiation interceptée et la réflectance à niveau de la couverture à partir des différents scénarios du stress hydrique. Cette analyse a permis de comprendre comment des aspects en relation avec la gestion du feuillage (mode de conduite de la vigne, rognage) déterminent la réponse spectrale de la couverture.

Articles :

F. Baret, B. de Solan, R. Lopez-Lozano, Kai Maa, M. Weiss. 2010 GAI estimates of row crops from downward looking digital photos taken perpendicular to rows at 57.5° zenith angle: Theoretical considerations based on 3D architecture models and application to wheat crops. *Agricultural and Forest Meteorology* 150 (2010) 1393–1401

Lopez-Lozano, R., Baret, F., Garcia de Cortazar, I., Bertrand, N. and Casterad, M. A. 2009: Optimal geometric configuration and algorithms for LAI indirect estimates under row canopies: The case of vineyards. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1307-1316.

R. Casa, F. Baret, S. Buis, R. Lopez-Lozano, S. Pascucci, A. Palombo and H. G. Jones. 2009 Estimation of maize canopy properties from remote sensing by inversion of 1-D and 4-D models. *Volume 11, Number 4, 319-334, DOI: 10.1007/s11119-010-9162-9*

R. López-Lozano, F. Baret, I. García de Cortázar Aauri, B. Tisseyre and E. Lebon, "Reflectance modeling of vineyards under water stress based on the coupling between 3D architecture and water balance model", *Proc. SPIE 7472, 74720H (2009); doi:10.1117/12.830057*

Perspectives :

Dans le cadre du projet Vinnotec, coordonné par B. Tisseyre (UMR ITAP) on continuera vers l'application opérationnelle des modèles 3D dans l'estimation de la vigueur de la vigne à partir de la télédétection (satellitaire et aéroportée), et notamment sur les aspects:

- Analyse des incertitudes associées à l'architecture de la vigne dans l'estimation de la vigueur (surface foliaire, porosité) à partir des données de réflectance.
- Mise à point d'une méthode opérationnelle pour l'estimation de la vigueur de la vigne à partir de données radiométriques observées dans des parcelles expérimentales de vigne.

Financement total par Agropolis Fondation : 59 746 € (salaire pour un post-doctorant, frais de fonctionnement)

Catégorie(s) de soutien : allocation post-doctorale

Durée du projet : 2 janvier 2008 – 30 septembre 2009

Mots clés : canopée – modélisation – génotype – télédétection – vignoble – architecture – développement durable