

Perspective : Reconduction du LMI PathoBios

## **PROJET LMI2 : PathoBios**

0.Fiche d'identité: libellé du projet, noms et adresses des porteurs pressentis, partenaires/équipes impliquées, priorité(s) thématique(s) et discipline(s)

### **LMI 2 PathoBios : Observatoire des agents phytopathogènes en Afrique de l'Ouest**

#### **Porteurs :**

Bouma James NEYA : Maître de Recherches INERA, Responsable du laboratoire LVBV (Laboratoire de Virologie et de Biotechnologies Végétales, Chef du Département Productions Végétales de l'INERA, Directeur du LMI1 Patho-Bios

Christophe BRUGIDOU : Directeur de Recherche IRD, Responsable de l'équipe IPPS de l'UMR IPME, Co-Directeur du LMI1 PathoBios

Charlotte TOLLENAERE : Chargée de Recherche IRD, IPME

**Partenaires:** INERA, Université Ouaga1 Professeur KI-Zerbo, Université st Thomas d'Aquin, Université Nazi Boni, IRD (UMR IPME et DIADE), CIRAD (UMR BGPI et PVBMT), Université Catholique de Louvain.

**Priorité Thématique :** Santé des Plantes

**Disciplines:** phytopathologie (mycologie, virologie, bactériologie, nématologie, épidémiologie), biotechnologie, agronomie, climatologie, écologie, malherbologie, entomologie, génomique, bioinformatique, biostatistiques, génétique, cartographie, modélisation

#### **1.Résumé exécutif**

Le LMI Patho-Bios poursuivra ses travaux de recherche dans son domaine principal: le diagnostic en santé des plantes, l'analyse (caractérisation, évolution) de la diversité des agents phytopathogènes et les méthodes de lutte contre les maladies des cultures, notamment la résistance variétale.

Les efforts sur l'élaboration et l'enrichissement des collections de référence de micro-organismes (pathogènes ou non) associés aux plantes seront une priorité. Des protocoles de contrôle rigoureux seront effectifs pour la qualité sanitaire des semences (graines sèches, boutures et tubercules) et l'assainissement des tubercules par culture *in vitro* des méristèmes. Bien qu'amorcé en 2018 avec les ateliers en biologie moléculaire appliquée aux champignons ('Mycomol') et en nématologie, les activités dans le domaine de la mycologie, de la nématologie et de l'entomologie seront soutenues et intégrées dans la dynamique de PathoBios, afin de fédérer une équipe ayant une expertise complète nécessaire à l'étude de l'ensemble des contraintes biotiques menaçant le rendement des cultures. Comme observatoire, nous viserons à développer des cartographies des maladies des plantes (présence/absence et incidence), et des génotypes cultivés, en relation avec les pratiques culturales et les conditions environnementales en Afrique de l'Ouest.

Nos activités couvriront les principales cultures du Burkina Faso: riz, sorgho, maïs, mil pour les céréales ; manioc, pomme de terre, et patate douce pour les plantes à racines et à tubercules, le niébé, le soja, le haricot riz et le voandzou pour les légumineuses, le sésame et l'arachide pour les

## Perspective : Reconduction du LMI PathoBios

oléagineuses, et le manguier et la tomate pour les fruits. Nous resterons ouverts à d'autres spéculations telles que les arbres fruitiers notamment le bananier, le papayer, l'anacardier, les citrus où des maladies émergentes sont observées et posent de graves problèmes à la filière fruits et légumes. Ces travaux se feront dans le cadre du Centre National de Spécialisation pour les Fruits et Légumes (CNS-FL du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP) à Farako-Ba.

Notre ambition est d'aller vers une étude intégrative des interactions plantes–microorganismes pathogènes et non pathogènes à l'échelle du champ et de l'écosystème. Dans cet objectif nous développerons des recherches pluri-disciplinaires, utilisant les nouvelles techniques de séquençage haut débit de 2<sup>ème</sup> (« short reads ») et 3<sup>ème</sup> (« long reads ») générations, pour intégrer la plante et l'(les)agent(s) pathogène (s) dans leur environnement biotique et abiotique, suivant le concept récent de phytobiome et non plus dans une seule interaction une plante/un pathogène. L'étude de microorganismes non-pathogènes sera ainsi intégrée du fait des possibilités d'application en termes de lutte contre les maladies. Les parcelles d'étude pluriannuelles et collaboratives pourront servir d'outil pour étudier l'impact des changements anthropiques, notamment climatiques, sur ces interactions et les conséquences sur le rendement. Enfin, nous développerons, avec le CIRAD et les LMI LAPSE et IEOSOL une base de données génomique des microorganismes pathogènes et non-pathogènes pour l'Afrique de l'Ouest.

Ces recherches permettront de mieux interagir avec les collègues agronomes et spécialistes des sciences sociales pour développer des projets vers une agriculture intelligente face au changement climatique en intégrant la lutte biologique au niveau de la parcelle et de l'écosystème.

Pour la formation et le renforcement des capacités, nous continuerons nos activités en organisant des formations « à la carte » en relation avec les universités et les instituts de recherche, nous participerons avec eux à la mise en place de travaux pratiques sous forme « d'ateliers » ou « d'école d'été ». Nous renforcerons notre participation à la formation en encadrant des masters et doctorants en nous rapprochant des formations doctorales existantes dans les domaines suivants : agronomie, agroécologie, phytopathologie, génétique, biotechnologie ou encore le changement climatique. Nous continuerons aussi nos formations au profit des agriculteurs (fiches techniques, atelier sur site par exemple diagnostic ou pratique culturale).

## 2.Analyse SWOT

FORCES	FAIBLESSES
Très bon bilan du LMI 2013-2018/aux moyens disponibles ( voir document bilan)	Surface limitée pour les locaux (laboratoire et bureaux)
Capacité de fédérer une communauté scientifique nord-sud sur les appels de bailleurs divers , projets BMGF, Agropolis, AMINATA, Leap-Agri	Sous équipements pour les laboratoires et les accueils
Implication de partenaires variés de la recherche à la valorisation sociétale	
Unique en Afrique de l'Ouest et Centrale	Sous équipements pour les serres et chambre de culture
Répond aux problématiques du développement : sécurité alimentaire , formation	approvisionnement électrique non garanti
Qualité de la recherche et des formations (voir document Bilan)	Conditions de travail difficile (transport, internet, chaleur....)
Plateformes fonctionnelles identifiées dans la sous région ( demande forte pour les accueils)	
Parcelles d'étude à l'INERA et en milieu paysans	
	<b>OPPORTUNITES</b>
Forte motivation des étudiants et chercheurs	Financements disponibles vers les pays les plus pauvres ( ex: EU, BMGF....)
<b>MENACES</b>	Possibilité de postuler pour un Centre d'Excellence Africain
	Déménagement possible à court/moyen terme dans un nouveau bâtiment (Centre National de Spécialisation "fruits et légumes") à FarakoBa
Problèmes sécuritaires au Sahel	Possibilité projet African Council
Pérennisation des plateformes	Possibilité d'organiser ou co-organiser un réseau "santé des plantes" en Afrique
	Possibilité d'ancrer durablement notre partenariat en Afrique sub-saharienne dans le domaine de la santé des plantes
Maintien des standards en absence d'ingénieur de recherche dans les laboratoires	Actions concrètes pour l'IRD (IPME et DIADE) par rapport aux ODDs en Afrique Subsaharienne
	Possibilité de recruter un technicien pour les plateformes sur le projet CRP-Rice
	Congrès sur la protection des plantes en 2020 à Ouagadougou

## 3. Programme proposé au regard de la nouvelle articulation science-formation-valorisation : objectif général, objectifs spécifiques, plan d'activités, caractère innovant du projet et résultats attendus

## Objectifs

Notre objectif général est de faire évoluer le LMI PathoBios vers un statut d'**Observatoire** des agents phytopathogènes en Afrique de l'Ouest (AO). L'observatoire, sera un partenaire incontournable de la recherche et de formation. Il viendra en appui au développement des outils de diagnostic des maladies majeures des cultures, la conservation des collections de ressources biologiques, l'étude de la résistance génétique et de leur utilisation pour la sélection variétale ainsi que le développement de méthodes de contrôles intégrées avec des pratiques culturales respectueuses de la santé et de l'environnement (agroécologie-biocontrôle).

Ce LMI pourrait prendre une place centrale pour la surveillance épidémiologique de certains agents pathogènes dans la région AO. Il sera avec l'Académie des Sciences (Comité pour les pays en développement), l'Académie d'Agriculture, la Société Française de Phytopathologie, et la Société Africaine de Phytopathologie, le co-organisateur d'un **congrès sur la protection des plantes en Afrique de l'Ouest** qui aura lieu en 2020 à Ouagadougou.

Notre ambition est que le LMI pathoBios devienne **un centre d'excellence / référence** dans le domaine de la santé des plantes pour l'AO, reconnu et labélisé par le CORAF et l'UEMOA.

## Plan d'activités de recherche

Les activités du LMI seront priorisées selon le contexte national et sous-régional, le positionnement des appels d'offres permettant le financement des projets, ainsi que les priorités nationales: (1) une **contribution à la sécurité alimentaire** en termes de quantité /calories (les céréales, légumineuses, racines et tubercules) et de qualité/vitamines (cultures maraîchères et fruitières, la patate douce à chair orange (PDCO), mil) et (2) **le développement des cultures de rentes**: légumineuses, cultures maraîchères et fruitières (mangue, anacarde), racines et tubercules, ainsi que le coton.

Les activités de recherche sont regroupées en quatre axes thématiques, chacun étant illustré avec des projets phares (ci-dessous), correspondant aux thématiques de recherche principales du LMI (en termes de moyens humains et/ou financiers).

Il est à noter que des collaborations en **entomologie** sont aussi en cours (avec par exemple l'étude des endosymbiontes du puceron *Aphis craccivora*, ravageur et vecteur de virus chez le niébé, en collaboration INERA-INRA). Un point sur les recherches en cours et les perspectives de collaboration en **nématologie** sera fait lors d'un atelier prévu en octobre 2018.

### Axe 1. Ecologie, diagnostic, épidémiologie, réservoirs et vecteurs

Notre objectif est ici (1) de diagnostiquer les espèces phytopathogènes, (2) de rechercher les facteurs gouvernant la répartition des maladies (vecteurs, climats, plantes hôtes, plantes réservoirs, co-infections, pratiques culturales...) et (3) de comprendre le cycle de vie des bioagresseurs dans les écosystèmes par des approches de métagénomique à l'échelle de la plante, du champ, de l'écosystème (inventaires des espèces microbiennes avec la constitution du microbiome et du phytobiome). L'ensemble de ces données seront ainsi intégrée au sein du concept de phytobiome (intégration des plantes dans leur environnement biotique et abiotique et prise en compte des interactions

#### **Projet phare 1.1: Surveillance, évaluation sanitaire et assainissement des maladies virales des principales cultures en Afrique de l'Ouest et Centrale**

Les maladies virales représentent les plus importantes contraintes de production de nombreuses cultures africaines : maraîchères et vivrières (céréales, légumes et tubercules). L'émergence brutale des épidémies virales est associée à de nombreux facteurs dont la dispersion et les pullulations de certains insectes vecteurs et l'utilisation de matériel de plantation virosé. Les épidémies actuelles de *maize lethal necrosis disease* et de *cassava brown streak disease* en sont des exemples éloquentes. Pour faire face à ces épidémies et proposer des méthodes de gestion durable, nous proposons :

(1) **un meilleur diagnostic des maladies virales**. La détection précoce des agents pathogènes est essentielle à la mise en place de méthodes de lutte efficaces et moins coûteuses. La mise au point

d'une gamme d'outils de diagnostic, utilisables sur le terrain ou au laboratoire, est un prérequis indispensable à la mise en place de réseaux d'épidémiologie en Afrique de l'Ouest et Centrale. Nous proposons de réaliser dans un premier temps une évaluation sanitaire des principales cultures vivrières (céréales, légumineuses, racines et tubercules) par une approche de métagénomique virale basée sur les outils de séquençage à haut débit.

(2) une **meilleure compréhension des aspects épidémiologiques** majeurs des maladies virales (diversité virale, gamme de plantes hôtes réservoirs ou alternatives, sources d'infection, répartition géographique, capacité de dispersion). La caractérisation pathologique et moléculaire des agents viraux incriminés permettra d'identifier à la fois les mécanismes moléculaires à l'origine de leur diversité et de leur évolution, et les paramètres épidémiologiques liés à leur émergence et à leur dissémination.

(3) une valorisation sociétale directe de la recherche par la distribution de matériel assaini (semences, boutures ou tubercules) par la mise en place d'un programme d'assainissement et de multiplication de matériel biologique et la mise en œuvre d'une filière de diffusion de semences et de matériel de plantation assainis et certifiés indemne de virus. L'inventaire et la caractérisation des populations virales hébergées par les cultures vivrières développés dans l'axe 1 permettront d'améliorer et d'adapter les outils de diagnostic pour l'indexation des ressources biologiques.

**Partenaires:** INERA (Tiendrébéogo Fidèle, Sérémé Drissa, Neya B James, Somé Koussao, Soro Monique, Tiberi Ezechiel, Zida Elisabeth, Traoré Edgar, Nacro Souleymane,...) , CIRAD (UMR BGPI: Roumagnac Philippe, UMR PVBMT: Lett Jean Michel), IRD (UMR IPME : Hebrard Eugénie, Poulicard Nils, Bangratz Martine , Pinel Agnes , Dereeper Alexis, Vigouroux Yves , Brugidou Christophe), UCL (Legèvre Anne, Bragard Claude)

**Financements :** BMGF (acquis)

### **Projet phare 1.2 : Impact de la communauté microbienne et des interactions intra-plante sur les maladies majeures du riz en Afrique de l'Ouest**

Les phytopathologistes se focalisent généralement sur un couple d'espèces 'plante / agent pathogène', tandis que la notion récente de 'pathobiome' propose au contraire d'insérer l'agent pathogène dans sa communauté biotique, le phytobiome, comprenant d'autres agents pathogènes (cas des co-infections ou infections multiples), ainsi que des micro-organismes non-pathogènes. Ce changement de paradigme permet de mettre en évidence **le rôle du phytobiome, sur le déroulement de l'infection, l'épidémiologie et l'évolution des populations d'agents pathogènes de plantes.**

Nous appliquerons le concept de 'pathobiome' aux agents pathogènes responsables de maladies du riz, qui menacent la sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest, c'est-à-dire principalement : le virus RYMV (*Rice yellow mottle virus*), les différents pathovars de l'espèce bactérienne bactéries *Xanthomonas oryzae* (*Xo*) et le champignon *Magnaporthe oryzae* (*Mo*). Dans le cas de la virose due à RYMV et la bactériose due à *Xo* pathovar *oryzicola* (*Xoc*), nous avons montré que les deux maladies co-existent fréquemment dans les rizières de l'Ouest du Burkina Faso, et que des interactions réciproques ont lieu en contexte de co-infection, probablement gouvernés par des mécanismes d'ARN interférence.

Nous proposons de poursuivre l'étude de l'interaction RYMV/*Xoc* d'une part, et d'autre part, d'étendre notre prise en compte du phytobiome aux autres maladies, ainsi qu'aux micro-organismes non-pathogènes, avec quatre activités : (1) Caractérisation de l'épidémiologie et des communautés bactériennes des feuilles et des racines de riz dans trois sites d'études ; (2) Mise en évidence expérimentale d'interactions intra-plante entre micro-organismes (pathogènes ou non), positives ou négatives ; (3) Etude des mécanismes des interactions pathogène-pathogène avec l'hypothèse d'une implication de l'ARN interférence ; (4) Comparaison des trajectoires évolutives en présence ou absence d'autres micro-organismes.

Les résultats attendus permettront une meilleure compréhension des mécanismes d'infection, de l'épidémiologie et l'évolution des populations des pathogènes circulant naturellement dans les agro-écosystèmes, et donc confrontés à la multitude de micro-organismes, pathogènes ou non, cohabitant au sein d'une plante. Seront générés dans ce projet:(1) des données écologiques et épidémiologiques détaillées, (2) une collection d'agents pathogènes menaçant le riz en Afrique de

l'Ouest (3) une collection de bactéries endophytes dont certaines ayant des propriétés phytobénéfiques (bio-contrôle). L'analyse des petits ARNs, acteurs clé de l'ARN interférence, induits en contexte d'infection et de co-infection permettra une meilleure compréhension des dialogues moléculaires lors des interactions pathogène-pathogène-plante. Enfin, l'effet de la co-infection sur les trajectoires évolutives des populations d'agents pathogènes avec l'apparition de variants capables de contourner la résistance variétale sera évalué.

**Partenaires** : INERA (Wonni Issa, Sérémé Drissa, Kassankogno Abalo), IRD (UMR IPME: Tollenaere Charlotte, Brugidou Christophe, Klonowska Agneska, Lacombe Séverine, Bangratz Martine, Cunnac Sébastien, Bena Gilles, Hebrard Eugénie), CIRAD-BGPI (Vernière Christian, Tharreau, Didier, Roumagnac Philippe).

**Financements** : Agropolis (acquis), CRP-Rice (acquis), ANR (soumis)

### **Projet phare 1.3. Caractérisation des bioagresseurs inféodés au bananier et proposition de stratégies de lutte**

Au Burkina Faso, la banane contribue à lutter contre l'insécurité alimentaire et nutritionnelle et le chômage. En 2014, sa production était estimée à 79 561,464 tonnes avec un chiffre d'affaires de 41 840 997 880 F CFA (Table filière banane, 2015). Toutefois, cette culture est sujette à une diversité de maladies causées essentiellement par les champignons, les bactéries et les virus et qui lui causent des dégâts allant de 20 % à la destruction totale de la bananeraie. Cette situation est aggravée par le non renouvellement du matériel végétal sain. La production est assurée par des rejets et/ou plants issus des pieds de bananier introduits depuis 1976. La connaissance de ces maladies et de leurs vecteurs est indispensable à la mise au point de toute stratégie de lutte efficace et durable. Malheureusement, au Burkina Faso, on ne dispose à ce jour, d'aucune information fiable sur les maladies du bananier. Or le développement de toute méthode de lutte efficace contre un bioagresseur repose sur la connaissance approfondie de celui-ci (souche en présence, détection et identification, mode de multiplication, bioécologie, diversité biologique etc.). Nous envisageons donc de faire un inventaire des bioagresseurs au bananier et présent sur le territoire à travers des prospections et collecte d'échantillons, de caractériser sur le plan biologique, pathogénique et moléculaire les bioagresseurs collecter et de mettre au point des d'outils de diagnostic et d'indexation. Il s'agira également dans le cadre de ce projet de produire et de diffuser de façon participative des plants sains de bananier via des techniques innovantes que sont le PIF et le MSD.

**Partenaires** : INERA (Sérémé Drissa , Wonni Issa) ,CIRAD: Caruana Marie-Line, CNRA (Côte d'Ivoire), Université Félix Houphouët Boigny,

**Financements** : FONRID (acquis), DGPV (Ministère agriculture Burkina)

### **Axe 2. Diversité génétique et pathogénique des bioagresseurs**

La structuration génétique des bio-agresseurs des cultures est étudiée à différentes échelles géographiques, afin d'identifier les facteurs gouvernant la structure génétique des populations, de mieux comprendre l'épidémiologie et d'inférer de possibles méthodes de lutte. Nous caractériserons la variabilité des niveaux de pathogénie et nous étudierons les facteurs responsables, notamment en termes de gènes de virulence.

### **Projet phare 2.1: Epidémiologie-surveillance, diversité des populations de *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*, agent de la bactériose vasculaire du manioc en Afrique de l'Ouest**

*Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* (*Xam*) est l'agent causal de la bactériose vasculaire du manioc (CBB), une maladie limitant grandement la production du manioc sous les tropiques. Le manioc est une culture de subsistance servant de nourriture de base pour un grand nombre de producteurs aux revenus limités, sa consommation est du reste l'objet d'un engouement certain depuis une dizaine d'années au niveau des populations de certains pays d'Afrique Sub-saharienne dont le Burkina Faso et le Mali. Par ailleurs, sachant que le manioc se propage de manière clonale

via des fragments de tiges et que *Xam* est un agent pathogène vasculaire se disséminant dans toute la plante suite à une infection, les boutures sont souvent des facteurs de dissémination primaires de la CBB. A cela s'ajoute le fait que l'échange de ces boutures est extrêmement dynamique de part et d'autre des zones frontalières bordant le Burkina, le Mali et la Côte d'Ivoire, et que aucun contrôle sanitaire n'est effectué à ce niveau. Sans trop de surprises, la CBB a été rapportée récemment dans chacun de ces trois pays.

Notre objectif est de mieux comprendre les facteurs déterminant les événements épidémiques, notamment à travers : (1) des enquêtes auprès des agriculteurs, et (2) de l'analyse de la diversité des populations de *Xam* par du typage moléculaire via un outil de type MLVA-14 dans le but de mieux cerner les voies d'invasion et de transmission ainsi que le rôle des réseaux d'échange de boutures. Il s'agira aussi de caractériser le niveau de résistance des variétés de manioc locales vis à vis des haplotypes de *Xam* dominants et/ou d'identifier des variants pathogènes.

**Partenaires** : INERA (Wonni Issa), CIRAD (UMR BGPI: Christian Vernière), IRD (UMR IPME: Szurek Boris), IER et U. de Bamako (Koita Ousmane), Université Felix Houphouët-Boigny, Cote d'Ivoire (Koné Daouda).

**Financements** : Agropolis (acquis), IFS (acquis)

### **Projet phare 2.2 Caractérisation et aspects épidémiologiques des virus infectant les céréales en Afrique de l'Ouest : Cas des virus de la panachure jaune du riz et du chiendent, du virus de la nécrose à rayure du riz**

La panachure jaune du riz est la maladie la plus dommageable à la culture du riz au Burkina Faso. Elle est causée par le virus de la panachure jaune du riz (*Rice yellow mottle virus*, RYMV. Nos études antérieures ainsi que d'autres menées par AfricaRice ont permis de sélectionner des variétés de riz à haut rendements adaptés aux différents agrosystèmes et répondant aux préférences des producteurs. Cependant la mise au point de toute lutte intégrée repose sur l'épidémiologie du pathogène, or les connaissances sur la pathogénie (transmission, écologie etc.) de ce virus restent encore fragmentaires ce qui ne favorise pas la recherche de méthodes de gestion durable ni la compréhension de l'apparition des épidémies. Le présent projet se propose donc de (i) étudier la pathogénie d'une batterie d'isolats de RYMV représentatif de la diversité pathogénique et géographique en Afrique de l'Ouest, (ii) cartographier les souches en présence dans la sous-région afin de proposer des variétés à déployer et (iii) déterminer les aspects épidémiologiques du RYMV notamment les hôtes alternatifs.

Une nouvelle maladie virale du riz a été observée en Côte d'Ivoire dans les années 1977 puis par la suite dans des pays d'Afrique de l'Ouest. Le virus de la nécrose à rayure du riz (RSNV pour *Rice stripe necrosis virus*) a été décrit comme l'agent pathogène responsable de cette maladie. Il est transmis par un protiste du sol endoparasite obligatoire des racines de plantes appelé *Polymyxa graminis*. Le présent projet vise donc à (i) étudier la répartition géographique de ce virus en Afrique de l'Ouest, (ii) déterminer ses caractéristiques biologiques et moléculaires, (iii) caractériser finement le champignon du sol *Polymyxa graminis*, vecteur de transmission du RSNV et (iv) mettre au point un kit de diagnostic sérologique du RSNV et un clone infectieux.

La panachure jaune de la graminée *Imperata cylindrica* (communément appelés chiendent) causée par le virus *Imperata yellow mottle virus* (IYMV) a été décrite pour la première fois en 2008 dans la région sud-ouest du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). Depuis cette date, IYMV émerge et la maladie a été observée sur le maïs, le mil et le sorgho. La première phase du LMI a permis d'étudier la diversité moléculaire et les hôtes alternatifs de ce virus au Burkina Faso. Elle a également permis de rechercher de potentiels partenaires protéiques dans la plante ciblée par le virus, en utilisant comme appât la protéine de capsid (CP) du virus IYMV et la méthode du double-hybride dans la levure. Ces travaux seront poursuivis pour une caractérisation plus fine. Nous étendrons notre étude en Afrique de l'Ouest notamment au Mali, au Bénin, en Côte d'Ivoire et au Niger où des symptômes similaires de ce virus ont été observés. Des évaluations des pertes de rendements sur le maïs, le mil et le sorgho induites par ce virus seront réalisées.



**Partenaires** : INERA Sérémé Drissa, Neya B James, Hébrard Eugénie (IRD), Brugidou Christophe (IRD), Legèvre Anne (UCL), Bragard Claude (UCL) , UMR IPME, Université Catholique de Louvain, AfricaRice, IER (Mali), Université Félix Houphouët Boigny

**Financements** : RYMV : IFS (acquis), programme riz (INERA); RSNV: programme riz (INERA) , une thèse en co-encadrement sous financement de l'UCL (acquis), IYMV: DGPV (Ministère agriculture Burkina).

### Axe 3 : Méthodes de lutte contre les bioagresseurs

Nos connaissances acquises à partir des axes 1 et 2 nous permettront de proposer des stratégies de lutte durable et qui respectent l'environnement avec des recommandations sur la gestion des périmètres cultivées et des pratiques culturales. Il s'agira de caractériser les niveaux de résistance/sensibilité des variétés locales aux principaux agents pathogènes. D'identifier de nouveaux gènes de résistance pour contribuer à l'amélioration variétale. D'étudier l'interaction génétique entre plante et pathogène et les capacités de contournement de résistance des agents pathogènes.

Nous innoverons avec des approches de biocontrôle, par exemple, en évaluant l'efficacité des extraits végétaux (extraits de neem, de *Eclipta alba*, *Balanites aegyptiaca*, huile de *Carapa procera*) comme biopesticide, de même, nous explorerons l'activité des agents de biocontrôle (macro-organismes, micro-organismes comme les bactéries, les champignons entomopathogènes, et les virus d'insectes). Nous évaluerons l'impact des pratiques agronomiques (en lien avec chaque contexte agro-écologique) par des essais au champ (formation) et la mise en place de parcelles d'observations, d'étude, et/ou de démonstration.

#### Projet phare 3.1: Sélection de variétés résistantes au RYMV

La panachure du riz est l'une des principales maladies du riz sur le continent africain. Alors que certaines variétés de la sous-espèce *O. sativa japonica* présentent des niveaux de résistance partielle limitant l'impact de la maladie en conditions de culture pluviale, la majeure partie des variétés cultivées en bas-fond ou en système irrigué sont hautement sensibles à la maladie. Des sources de résistance élevée ont été décrites ainsi que des gènes majeurs contrôlant des résistances récessives ou dominantes. Cependant les allèles de résistance ont dans la plupart des cas été identifiés chez des accessions de riz cultivé africain, *O. glaberrima*, et sont difficiles à introgresser chez les variétés de riz asiatique, *O. sativa*, plus largement cultivées. A l'heure actuelle, seul l'allèle de résistance *rymv1-2* est disponible dans des variétés d'intérêt agronomique.

Notre objectif est de poursuivre le développement des variétés d'intérêt agronomique résistantes au RYMV et d'évaluer leur durabilité.

Il s'agira de mettre en œuvre des approches de sélection assistée par marqueurs pour sélectionner des variétés *O. sativa* d'intérêt résistantes. Un focus particulier sera mis sur des gènes ou allèles pour lesquels les premières étapes de croisements ont déjà été réalisées et qui seront transférés vers des lignées élités du Burkina-Faso. Des lignées pyramidées contenant plusieurs gènes de résistance pourront également être développées. L'expression de la résistance dans les différents fonds génétiques sera, si besoin, analysé pour identifier les variétés les plus prometteuses.

Lors des essais de terrain qui seront mis en place pour les différentes étapes de la sélection ou pour l'évaluation des lignées, une attention particulière sera portée à l'observation d'éventuels cas de contournement. En effet, certains isolats viraux sont capables de contourner rapidement les gènes/allèles de résistance, au moins en conditions contrôlées. La fréquence de contournement sera analysée afin d'évaluer la durabilité des résistances et les éventuels variants contournants seront caractérisés afin de vérifier si les mêmes mécanismes moléculaires de contournement sont impliqués en conditions contrôlées et au champ. Ces résultats permettront de définir les stratégies de déploiement des différents gènes et allèles les plus adaptées pour optimiser la durabilité de la résistance.

**Partenaires** : INERA (Traoré Edgar, Kam Honoré, Sérémé Drissa (INERA), IRD (DIADE, IPME : Albar Laurence , Hébrard Eugénie , AfricaRice (Silué Drissa)

**Financements** : CRP-Rice (acquis)

### **Projet phare 3.2 : Efficacité et durabilité de nouvelles gestions de résistance du riz aux bactérioses causées par *Xanthomonas* en Afrique**

Les bactérioses du riz causées par l'espèce *Xanthomonas oryzae* représentent un frein majeur à la riziculture sur le continent africain. La bactériose vasculaire (BLB) et à stries foliaires (BLS) sont respectivement causées par *X. o. pv. oryzae* (Xoo) et *X. o. pv. oryzicola* (Xoc) et ont été détectées pour la première fois dans les années 1980 en Afrique de l'Ouest. Basées sur nos connaissances fondamentales des mécanismes de virulence du pathogène et de ses cibles chez l'hôte, il est aujourd'hui possible d'envisager de nouvelles stratégies de contrôle des maladies en empêchant notamment les bactéries d'activer leurs cibles de virulence, ce qui revient à les neutraliser.

Dans le cadre du projet « Transformative strategy for controlling rice disease in developing countries Phase II » (2018-2021) financé par la Fondation Bill & Melinda Gates, la technique Crispr-Cas a été utilisée pour modifier des sites de régulation dans les promoteurs de plusieurs gènes de sensibilité à des souches africaines de Xoo. Des tests de pouvoir pathogène réalisés au laboratoire sur un nombre restreint de souches montrent que ces plantes sont résistantes. L'objectif majeur de ce projet sera :

1-De tester les performances agronomiques des lignées multi-éditées au champ sur deux sites de production contrastés et à raison de deux répétitions par an. Ces expériences seront réalisées au Burkina Faso sur les parcelles d'étude de l'INERA (Vallée du Kou et Karfiguela) et au Mali en collaboration avec l'Université de Bamako.

2-De valider en conditions contrôlées le phénotype de résistance des lignées multi-éditées sur l'ensemble de la collection de souches de Xoo disponibles à l'IRD (environ 350 collectées dans divers pays d'Afrique de l'Ouest).

3-De compléter notre collection de souches par des travaux d'échantillonnage dans les pays de la sous-région où pas ou peu de souches sont actuellement disponibles.

4-De caractériser au niveau moléculaire les souches qui seraient capables de contourner les variétés résistantes via le séquençage complet du génome du pathogène et la caractérisation du répertoire de facteurs de virulence.

**Partenaires** : INERA (Wonni Issa), CIRAD (UMR BGPI: Vernière Christian), Université Bamako (Koita Ousmane), IRD (UMR IPME: Szurek Boris, AfricaRice (Silué Drissa), consortium du projet Gates (IRRI, CIAT, HHU, UF, ISU), Cornell U.

**Financements** : BMGF(acquis), CRP-Rice (acquis)

### **Projet phare 3.3 : Valorisation des plantes locales par l'utilisation de leur potentiel antimicrobien**

Une prospection botanique permettra de recueillir des données fondamentales sur la distribution et l'habitat des espèces végétales ciblées : *Eclipta alba* (L.) Hassk ; *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf ; *Hyptis suaveolens* (L.) Poit., *Ocimum gratissimum* L., *Lippia multiflora* Moldenke, *Jatropha curcas*, *Lawsonia inermis*, *Cymbopogon proximus*, *Laurus nobilis*, *Persea americana*. Cette étude permettra de faciliter la conservation de l'espèce (éviter son éradication par des prélèvements trop nombreux) et de maximiser la diversité de l'espèce mise à la disposition de l'étude. Cette diversité peut être due aux facteurs environnementaux qui jouent un rôle majeur dans l'accumulation des métabolites secondaires, molécules principalement impliquées dans le potentiel antimicrobien des plantes. Puis, l'efficacité des extraits de ces 10 plantes endémiques sera évaluée en termes d'activité antimicrobienne (*in vitro*, en condition semi-contrôlées et au champ afin d'évaluer la constance de l'efficacité des extraits) contre les principales maladies fongiques et bactériennes du riz (*Xanthomonas oryzae*, agent bactérien et *Magnaporthe grisea*, agent fongique) et contre les maladies fongiques du sésame et de l'arachide (champignons du genre *Cercospora*, *Alternaria*, *Phytophthora* et *Fusarium*). Enfin, les molécules actives des extraits seront étudiées par : (1) Identification des composés présents dans les extraits les plus actifs par les techniques de la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS), et (2) Isolement des molécules par fractionnement des extraits pour et concentration des fractions. Après avoir testé l'activité antimicrobienne *in vitro* de chacune des fractions, il s'agira de purifier les molécules



présentes dans les fractions actives et procéder à des tests biologiques pour vérifier leur activité *in vitro* et en terrain expérimental.

Les résultats seront valorisés par des publications dans des revues internationales de haut niveau, un ou plusieurs brevets pour les éventuelles nouvelles molécules impliquées dans l'activité antimicrobienne et un protocole d'utilisation dédié aux producteurs.

**Partenaires:** INERA (Wonni Issa, Zida Elisabeth), laboratoire LABIOCA de l'Université Ouaga1 Professeur Joseph Ki-Zerbo, Laboratoire Biosciences (Koita Kady)

**Financements :** IFS (soumis)

### **Projet phare 3.4 : Sélection de bactéries à potentiel de biocontrôle**

Les micro-organismes sont naturellement présents sur (autour, sur et à l'intérieur) des racines des plantes en formant un microbiome racinaire. Cette communauté microbienne est façonnée par divers facteurs comme les caractéristiques physico-chimiques du sol, le génotype de la plante et ses exsudats racinaires, et par les interactions directes entre les micro-organismes présents dans le sol (via des effets de suppression, antagonisme, synergie). Parmi les micro-organismes racinaires, certains ont la capacité d'influencer la croissance de la plante *via* les effets hormonaux et les effets nutritifs, et/ou de limiter le développement de l'infection d'un pathogène. Cette capacité de « biocontrôle » peut s'exercer *via* les effets antagonistes directement contre les pathogènes ou, indirectement en induisant chez la plante une **résistance systémique acquise** (SAR) ou une **résistance systémique induite** (ISR). Les pathogènes, les insectes herbivores, mais aussi les micro-organismes bénéfiques du sol peuvent ainsi induire chez la plante un état de potentialisation des défenses (priming) faisant partie de l'ISR. Le priming permet à la plante de répondre à l'attaque pathogène de manière plus rapide, plus forte et plus efficace, en comparaison avec une plante non-induite. Le coût global lié au priming est plus avantageux pour la plante (lower fitness cost) et il semble conférer à la plante une résistance à un spectre de pathogènes plus large, en comparaison avec les mécanismes de résistance gène to gène spécifique. Le priming, qui est un caractère adaptatif aux conditions environnementales changeantes, constitue une bonne base de développement des stratégies vertes pour améliorer la résistance des plantes.

Plusieurs micro-organismes (chez des bactéries des genres *Pseudomonas*, *Bacillus*, chez des champignons du genre *Trichoderma*) ont été décrits ayant un effet de biocontrôle sur les plantes. La seule étude sur le riz en Afrique a été réalisée, à notre connaissance, en Tanzanie et a utilisé une approche de culture bactérienne sur des graines. Suite aux travaux réalisés entre 2016 et 2017 en collaboration entre l'IPME et PathoBios (à Bobo Dioulasso) nous disposons d'une collection bactérienne partiellement caractérisée (16S et capacités PGP *in vitro*) isolée de racines du riz.

Notre objectif est de sélectionner les micro-organismes racinaires (rhizosphériques et/ou endophytes) ayant un effet de biocontrôle afin de développer des méthodes d'amélioration de la résistance sur les plantes du riz au Burkina Faso. Le projet est basé sur 4 approches : (1) la constitution d'une collection des bactéries endophytes et rhizosphériques du riz ; (2) la sélection des bactéries exerçant un effet biocontrôle ; (3) l'identification de consortiums microbiens ; et (4) les mécanismes à la base de l'effet biocontrôle sur le riz.

**Partenaires :** INERA (Wonni Issa (INERA), IRD (UMR IPME: Klonowska Agnieszka, Béna Gilles, Tollenaere Charlotte), LMI LAPSE ( Laplaze Laurent),

**Financements :** CRP-Rice (acquis)

### **Projet phare 3.5 : Dépérissement des manguiers en Afrique de l'Ouest : Caractérisation des agents pathogènes associés pour l'évaluation de paquets technologiques de lutte au Burkina Faso.**

Une nouvelle maladie apparue récemment dans les vergers de manguiers est devenue subitement la principale contrainte de la production de mangue au Burkina Faso, avec une extension importante en Afrique de l'Ouest. Cette maladie, d'origine inconnue, se traduit par un dessèchement progressif et rapide des branches puis de l'arbre entier, un manguiers pouvant mourir en quelques semaines après l'apparition des premiers symptômes. La mangue constitue la première culture fruitière au Burkina Faso, et sa culture est essentiellement localisée dans la région des Hauts Bassins (Bobo

Dioulasso) dans le Sud-Est du pays. La filière organisée autour de cette culture occupe près de 15000 exploitants et fait fonctionner une soixantaine d'unités de transformation.

Il est prévu dans ce projet de procéder à la collecte d'échantillons dans différentes sous-régions du Burkina Faso afin de vérifier une origine biotique du dessèchement du manguiers et aboutir éventuellement au diagnostic de l'agent causal. Des isollements à partir des échantillons malades ont déjà permis de détecter 2 espèces de champignons, dont *Lasiodiplodia theobromae*. En outre l'insecte *Hypocryphalus mangiferae*, vecteur potentiel de cette espèce, a été observé dans les vergers du Houet, une des grandes provinces productrices de mangues au Burkina Faso. La caractérisation de l'agent pathogène, et éventuellement de son vecteur permettra de mettre au point des méthodes de luttés efficaces pour une gestion durable de cette maladie au Burkina Faso. Des moyens de lutte basés sur la recherche de résistances génétiques chez la plante, la lutte biologique contre l'agent pathogène et son vecteur éventuel, ainsi que des techniques de récupération des manguiers atteints seront évalués. En parallèle, il est prévu des actions vers les agriculteurs de la filière mangue pour l'information sur la maladie et l'adoption de bonnes pratiques agricoles.

Des financements ont été obtenus pour le financement d'une bourse de thèse (Collège doctoral en agroécologie, programme AUF/IRD PARFAO), et l'organisation d'une mission de formation à l'EMBRAPA (Brésil).

**Partenaires** : UMR IPME (D Fernandez), UMR BGPI (Tharreau Didier), INERA (Wonni Issa, Sérémé Drissa, Nacro Souleymane, Embrapa (de Sa Fatima Grossi) et Université Fédérale de Viçosa (Brésil).

**Financements** : FONRID, Collège doctoral en agroécologie, programme AUF/IRD PARFAO (formation d'un doctorant), ambassade du Brésil (mission internationale d'expertise).

#### Axe 4 : Innovations et Biotechnologie

Les connaissances acquises sur les agents pathogènes de plantes peuvent être utilisées en biotechnologies. Notamment, les plantes et leurs pathogènes viraux peuvent servir pour la production de protéines recombinantes d'intérêt pharmaceutique et agronomique dans les plantes (dans les meilleures conditions de biosécurité).

En relation avec l'axe 1, nous développerons des outils de diagnostic (en collaboration avec la clinique des plantes) avec des fiches techniques sur les maladies identifiées, notamment des tests de diagnostic simples de type LAMP (Loop Mediated Isothermal Amplification) ou RPA (Recombinase Polymerase Amplification). Nous testerons également les nouveaux systèmes de séquençage que nous pourrions utiliser sur le terrain (e.g. le séquenceur d'ADN miniature MinION). Pour les plantes à tubercule nous développerons la culture *in vitro* pour l'assainissement des plantes élites. Enfin, en relation avec l'axe 3, nous envisageons avec des formations associées (transformation végétale, biosécurité) de créer et de combiner de nouvelles résistances par transgénèse (RNAi) ou par édition du génome (mutagénèse ou délétion). Sur le plan agronomique, nous proposerons de nouvelles pratiques culturales associées à des variétés et l'utilisation de biopesticide.

Toujours en termes d'innovation, deux autres projets ont été élaboré dans le cadre de la phase 1 du LMI. Il s'agit du projet intitulé « Mobile application-based system for earlier and reliable rice and maize pests and diseases diagnosis in Burkina Faso » soumis à la fondation BMGF et du projet « Production et diffusion participatives de plants sains de bananiers par des techniques innovantes » financé par le Fonds national de la recherche et de l'innovation pour le développement (FONRID).

#### Projet phare 4.1 : Production de protéines à forte valeur ajoutée.

Les deux axes majeurs de cette activité mise en place au cours du LMI I seront poursuivis. Le premier axe concerne **la production de protéines à intérêt médical**. Un fort intérêt est dès à présent convenu pour des protéines à activité vaccinale ou diagnostique contre le paludisme. Il pourra s'étendre à d'autres pathologies selon les partenaires experts associés. De nouveaux outils biotechnologiques basés sur les virus seront développés. Il s'agit de s'appuyer sur la capacité répliquative des virus pour proposer des outils permettant **d'optimiser les rendements de**

**production des protéines d'intérêt.** Cette problématique qui a bien avancée au cours du LMI I, devrait aboutir rapidement en la mise à disposition d'un outil viral pour la production de protéines recombinantes utilisables au LMI et chez les partenaires.

Nous travaillons aussi sur l'exploitation du virus RYMV comme **outils VIGS** (Virus Induced Gene Silencing) pour permettre l'étude fonctionnelle de gènes d'intérêt chez le riz. Nous proposons de développer de tels outils originaux au cours du LMI II utilisables par les partenaires. Un intérêt particulier sera porté à l'étude fonctionnelle de gènes impliqués dans les stress biotiques en collaboration avec les membres et partenaires du LMI. Le Virus IYMV (Imperata Yellow Mosaic Virus, IYMV) sera aussi exploité pour un outil VIGS chez le Mil, le Sorgho et le Maïs.

Le deuxième axe de cette activité concerne **la production de protéines à intérêt agronomique** tel que des pesticides. Des cibles sont dès à présent identifiées avec notre partenaire brésilien (variants d'inhibiteur d'alpha amylase et de cryotoxines). Un effort particulier sera mis aussi sur des protéines d'origine « locale » connues pour leurs activités contre les nuisibles, l'idée étant à terme de participer au développement de bio-pesticides à faible coût, produits et utilisables localement.

**Partenaires:** INERA (Tiendrébéogo Fidèle), IRD (UMR IPME: Lacombe Séverine, Brugidou Christophe, LABIOGENE et l'Université Ouaga1 Professeur Joseph Ki-Zerbo (Simporé Jacques), EMBRAPA (de Sa Fatima Grossi)

**Financements :** Pré-maturation région Occitanie (soumis).

#### **Projet phare 4.2 : Production des inocula bactériens pour le biocontrôle**

Ce projet est en lien directe avec le projet phare 3.3 (Sélection des organismes de biocontrôle bactériens). Il concerne la mise au point des méthodes de la production des micro-organismes bénéfiques à plus grande échelle et de la stratégie d'inoculation de ces **phyto-probiotiques** sur le riz, le but final étant le développement d'une offre réelle, peu couteuse et applicables par les petits (paysans) et grands producteurs. Ce travail devrait être développé au centre de l'INERA à Farako Ba où un laboratoire de biotechnologie est fonctionnel.

**Partenaires :** INERA (Wonni Issa), IRD (UMR IPME : Klonowska Agnieszka, Béna Gilles, Lionel Moulin , Tollenaere Charlotte ), LMI LAPSE (Laplaze Laurent )

Perspective : Reconduction du LMI PathoBios

Nom abrégé	Titre entier	Projet financé	Bailleur	Etat du financé		Nom du porteur de projet	Nom du porteur LMI	Financement LMI (en eur)	Période du projet	
				acquis	soumis				Date de début	Date de fin
WAVE	Surveillance, évaluation sanitaire et assainissement des maladies virales des principales cultures en Afrique de l'Ouest et Centrale		BMG/DFID-UK	X		F Tiendrébéogo	F Tiendrébéogo	857 827	sept-18	août-22
MACOWECA –	Maize and Cowpea for sustainable food and nutrition security in Western and Central Africa		USA		X	NEYA B. James	NEYA B. James	250 000	juil-19	juil-21
	Caractérisation des virus sur sorgho, mil et niébé		CRP-GLDC	X		Hebrard E/ Brugidou C	Neya J/Zida	35 000		dec -2018
	Genomic tools for management of insect pests in SSA project		DFID-UK		X	F Tiendrébéogo	F Tiendrébéogo	961 721	oct-18	sept-22
E-Space	Improving epidemicsurveillance of Mediterranean and tropical plant diseases		Labex Agropolis	X		C. Neema (SupAgro)	C. Tollenaere	30 000	janv-16	dec-19
RIPABIOME	Rice Pathogenic microBIOME: focus on bacterial and fungal within-plant pathogen interactions in West Africa		Labex Agropolis	X		C. Tollenaere		20 000	juil-18	dec-19
	Mise au point d'une méthode de diagnostic multi-pathogène		CRP-Rice	X		C. Tollenaere		15 000	janv-16	dec-20
IntraRice	Within-plant interactions involving major rice diseases in West Africa: mechanisms, epidemiological and evolutionary implications		ANR		X	C. Tollenaere		200 000	janv-19	dec-22
	Production et diffusion participatives de plants sains de bananiers par des techniques innovantes		FONRID	X		D Sérémé	D Sérémé	45 000	juin-18	juin-20
	Mobile application-based system for earlier and reliable rice and maize pests and diseases diagnosis in Burkina Faso		BMGF		X	D Sérémé	D Sérémé	100 000	janv-19	dec-20
PAIX	Epidémiolo-surveillance, diversité des populations de Xanthomonas axonopodis pv. manihoti, agent de la bactériose vasculaire du manioc en Afrique de l'Ouest		Labex Agropolis	X		B Szurek	B Szurek/I Wonni	20 000	juin-15	juil-18
			IFS	X		I Wonni	I Wonni	10 000	janv-18	dec-20
	Inventaire et caractérisation des principaux virus infectant l'igname au Burkina Faso : évaluation des variétés les plus cultivées pour leur résistance/tolérance à ces pathogènes		IFS		X	B Ouattara	D Sérémé	11 500	janv-19	dec-20
	Caractérisation des principaux virus infectés aux céréales sèches (sorgho, mil, maïs) et identification de souches de résistance pour leur contrôle au Burkina Faso		IFS		X	M Sanon	D Sérémé	11 000	janv-19	dec-20
	Evolution de souches de virus de différents types et de leurs interactions sur le développement du RYMV pour une meilleure gestion de la maladie de la panachure jaune du riz au Burkina Faso		IFS	X		E Paliwendé	D Sérémé	11 000	janv-18	dec-20
	Selection de variétés résistantes au RYMV		CRP-Rice	X		L Albar	L Albar	15 000	janv-16	dec-20
	Efficacité et durabilité de nouvelles gestions de résistance du riz aux bactérioses causées par Xanthomonas en Afrique		BMGF	X		B Szurek	B Szurek/I Wonni	130 000	oct-17	juil-21
			CRP-Rice	X		B Szurek	B Szurek	10 000	janv-16	dec-20
	Valorisation des plantes locales par l'utilisation de leur potentiel antimicrobien		IFS		X	K Koïta	K Koïta	11 500	janv-19	dec-20
	Sélection de bactéries à potentiel de biocontrôle		CRP-Rice	X		L Moulin	A Klonowska	5000	janv-16	dec-20
	Evaluation et diffusion de paquets technologiques efficaces pour la récupération des maniguans affectés par le dépérissement au Burkina Faso		FONRID	X		I Wonni	I Wonni	45 000	juin-18	juin-20
AmpliProt	Amplificon RYMV pour production de protéines à forte valeur ajoutée		Région Occitanie/SaTtLR		X	S Lacombe	S Lacombe	120 000	janv-19	juin-20
	Production de bactéries à potentiel de biocontrôle		CRP-Rice	X		A Klonowska	A Klonowska	5000	janv-16	dec-20

Tableau projets financés

## Plan d'activités en termes de formation

L'ensemble des activités de formation développées dans le LMI-1 a été très satisfaisant (voir bilan LMI 2013-2018) à la fois du côté intervenants LMI que des participants. Nous proposons de maintenir ces actions pour les années à venir.

En particulier, nous continuerons d'assurer et de participer à l'accueil et l'encadrement des étudiants (es) master, et des doctorant(e)s sur les projets du LMI en fonction des financements disponibles et des conditions d'accueils (places disponibles au laboratoire et dans les bureaux).

Il est à noter que les femmes sont très peu représentées dans les chercheurs et enseignant-chercheurs au Burkina Faso et en Afrique de l'Ouest. Le projet est sensible à cette question et favorisera les **candidatures féminines** dans les actions de formation. Les candidatures aux appels d'offre spécifiques aux femmes tels que les bourses l'Oréal-Unesco, le programme de bourse MWALIMU NYERERE de l'Union Africaine seront soutenus.

Aussi, des **formations en biologie moléculaire** seront proposées de façon régulière, avec des thématiques particulières en fonction de la demande des partenaires (Laboratoire National de Santé Publique, INERA, Universités). Par exemple, à la demande d'un enseignant de l'Université Nazi-Boni, une formation en biologie moléculaire appliquée au cas des champignons phytopathogènes ('**MycoMol**') est organisée en juin 2018 à Bobo-Dioulasso. Celle-ci pourra être réorganisée régulièrement (par exemple tous les deux ans) si la demande se fait sentir. Ce sera aussi le cas pour les formations en biologie moléculaire, hygiène et sécurité, diagnostic, analyse des données, et bioinformatique.

De plus, les formations et enseignements dispensés ont permis de cibler les besoins des partenaires en termes d'enseignements. Ainsi, le besoin d'un renforcement des capacités ressort dans les **domaines de l'épidémiologie, la biostatistique, la biotechnologie végétale, et plus particulièrement la bioinformatique** a été identifié.

### Cas de la Bioinformatique

Université Ouaga1 : Romaric Nanema, INERA : Tiendrébéogo Fidèle, Tibéri Ezéchiél, IRD (IPME-DIADE) : Tranchant Christine Dereeper Alexis Tando ndomassi,

Au vu de la tendance actuelle, le nombre de projets scientifiques basés sur du séquençage haut débit ne va cesser de croître au niveau du LMI, générant ainsi à la fois un besoin en ressources locales de calcul et en compétences en bioinformatique pour analyser les données générées. Face à ce constat, nous proposons une stratégie visant à pérenniser les formations bioinformatiques (comme celle déjà dispensée en 2016 au Burkina et plus largement en Afrique de l'Ouest par la plate-forme bioinformatique South Green (IRD/CIRAD/Bioversity) et donc renforcer les capacités dans cette discipline en pleine expansion.

Nous souhaitons reconduire chaque année des formations en bioinformatique avec des thématiques diverses (ex: métagénomique, analyse de polymorphismes ou expression différentielle de gènes). Ces formations pourront être décomposées en module d'enseignement (ex: génomique et séquençage, biologie des plantes, linux et analyse de données NGS, métagénomique). Certains modules pourront être réalisés localement par un enseignant de l'université (ex: TD et TP linux, programmation, statistique), par un partenaire du LMI (local) et/ou par la venue d'un expert français. Nous proposons de mettre en place le tutorat sur un an pour accompagner 3-4 étudiants/chercheurs (ayant suivis une des formations) dans leurs projets. Des missions d'une semaine devront être organisées pour réaliser un double tutorat par exemple en génomique et bioinformatique. Ceci permettrait de pérenniser les compétences acquises tout en soutenant des projets de recherche. Aussi, nous proposons d'accueillir des scientifiques du LMI pendant plusieurs mois sur le centre IRD de Montpellier pour se former à cette nouvelle compétence au sein de la plateforme bioinformatique montpellieraine.

A **moyen terme** (3 ans), nous transférerons progressivement la prise en charge des ateliers et modules par des enseignants chercheurs burkinabé. Nous proposerons des co-encadrements de doctorants avec un accueil à Montpellier en partenariat avec la plateforme South Green.

A **long terme** (5-10 ans), les modules seront intégrés dans les cursus universitaires à Ouagadougou mais plus largement en Afrique de l'Ouest. Nous participerons à l'émergence d'un master dédié à la Génomique et Bioinformatique en Afrique de l'Ouest.

Toutes ces actions devront se faire en synergie avec le LMI LAPSE et le DP IAVAO au Sénégal qui ont mis en place des initiatives similaires.

En parallèle, nous participerons à l'achat des serveurs de calcul installés localement et à la formation pour des compétences en administration système en s'appuyant sur les experts de la plateforme South Green via des missions au Burkina ou des accueils sur Montpellier.

Une évolution récente au niveau de l'UFR/SVT de l'Université Ouaga1 Professeur Joseph KI-ZERBO est encourageante, avec l'achat de serveurs et une formation conjointe administrateur et utilisateur qui sera organisée conjointement par le LMI, l'IRD et l'université Ouaga1 en 2018 sur un financement AGRA.

### **Proposition de formation en épidémiologie computationnelle**

La proposition de formation en épidémiologie computationnelle (Denis Fargette, IRD) est à la croisée de trois des thèmes de formation du projet LMI PathoBios: épidémiologie, bio-statistique et bioinformatique. La formation en épidémiologie computationnelle a pour objectif l'extraction par voie informatique d'information issues des données génétiques (les séquences nucléotidiques notamment), l'analyse bio-statistique de l'information obtenue intégrant les données relatives à d'autres traits (spatiaux, temporels, biologiques) en vue de la modélisation de l'épidémiologie. La proposition de formation en épidémiologie computationnelle est complémentaire des formations de bioinformatique et de bio-statistique du projet LMI PathoBios.

L'épidémiologie computationnelle fait aujourd'hui l'objet de nombreuses offres de formation sous des vocables et des « périmètres » différents (phylodynamique, biologie computationnelle des maladies infectieuses, dynamique évolutive et épidémiologie moléculaire, évolution computationnelle...). Ces formations sont le plus souvent « lourdes » (plusieurs intervenants pour couvrir les différents domaines), en Anglais, avec des frais d'inscription relativement élevés, et un taux de sélection important (l'offre ne pouvant répondre à la demande) ; et au final, peu de participants d'Afrique francophone. Ces formations nécessitent le recours à Linux, R et/ou à plusieurs logiciels et jeux de données, ce qui complexifie l'apprentissage de l'épidémiologie computationnelle.

Nous proposons dans le cadre du projet LMI PathoBios une formation en épidémiologie computationnelle gratuite et en Français, facilitée par l'utilisation d'un seul logiciel – intégratif et à interface graphique (BEAST, site <http://beast.community>) – et d'un seul jeu de données (RYMV, *Rice yellow mottle virus*). Une formation de qualité sera ainsi accessible aux étudiants et chercheurs d'Afrique francophone. Nous adapterons les formations de référence de ces domaines « International bioinformatics workshop on virus evolution and molecular epidemiology (VEME) (<https://rega.kuleuven.be/cev/veme-workshop/2017>), et « Taming the BEAST, Bayesian Evolutionary Analysis (by) Sampling Trees » (<https://taming-the-beast.github.io/>), décrits aussi dans les ouvrages « The Phylogenetic Handbook » et « Bayesian evolutionary analysis with BEAST-2 ». Ces méthodes élaborées initialement dans le cadre de l'étude des grandes épidémies virales humaines sont maintenant utilisées pour un nombre croissant d'organismes (et même en dehors de la biologie).

Cette formation cible des étudiants (master, thèse, post-doc), chercheurs et enseignants-chercheurs en biologie végétale (ou agronomie), en biologie humaine (ou médecine), et en mathématiques (ou statistiques) appliquées à la biologie. Un des objectifs de cette formation pluridisciplinaire est aussi de réunir et de faire travailler ensemble des étudiants (ou chercheurs) issus de ces disciplines. Des pré-requis en informatique ne seront pas nécessaires, par contre il faudra avoir suivi une formation en probabilités. A terme, une partie de la formation sous forme de MOOCs pourra être envisagée.

### **Autres disciplines**

Pour les autres disciplines nous proposons de les intégrer directement dans les masters Science de la Vie et de la Terre existants. A l'Université Ouaga I Pr. Joseph KI-ZERBO, il s'agit notamment des masters : BIOGEMA (Pr Jacques Simporé), BSN (Dr Martin Kiendrébégo), BMC (Pr Alfred Traoré). A l'université Nazi Boni (Bobo-Dioulasso), c'est le master PIC (Pr Irénée Sombda).



Des discussions directes entre les membres du LMI et les responsables de masters doivent permettre d'intégrer ces disciplines dans les différents cursus.

Pour la bioinformatique, discipline peu enseignée et maîtrisée, une implication matérielle (salle informatique, serveur, connexion internet...) et humaine (administrateur/trice) serait nécessaire. Pour cela, l'UFR/SVT est directement sollicitée. Au niveau régional, le LMI PathoBios sera aussi impliqué dans un master Agroécologie: Amélioration variétale et innovations agroécologiques pour une transition alimentaire en Afrique de l'Ouest, AMINATAA avec un parcours santé des plantes (en cours avec l'IRD, SupAgro, l'agence Universitaire de la Francophonie (AUF), pour le Sénégal : l'Université de Thiès, l'Université Gaston Berger, l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD), et pour le Burkina Faso: l'Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO et l' Université NAZI BONI).

En collaboration avec la Clinique des Plantes, une valorisation sociétale des résultats de recherche sera réalisée par la diffusion aux producteurs des bonnes pratiques agronomiques pour le contrôle des maladies et des ravageurs; grâce à des formations directement aux producteurs ou aux animateurs endogènes des groupements paysans ou via les agents du ministère de l'agriculture. Des parcelles de démonstration pourront être mises en place dans un but pédagogique.

Enfin, sur les problématiques citées ci-dessus, des projets pourront être proposés aux étudiants de master de l'université de Montpellier, l'université catholique de Louvain, et Montpellier SupAgro. Ainsi, des étudiants du Nord pourront se confronter à la réalité du terrain et échanger avec des étudiants d'Afrique de l'Ouest.

### Caractère innovant du projet

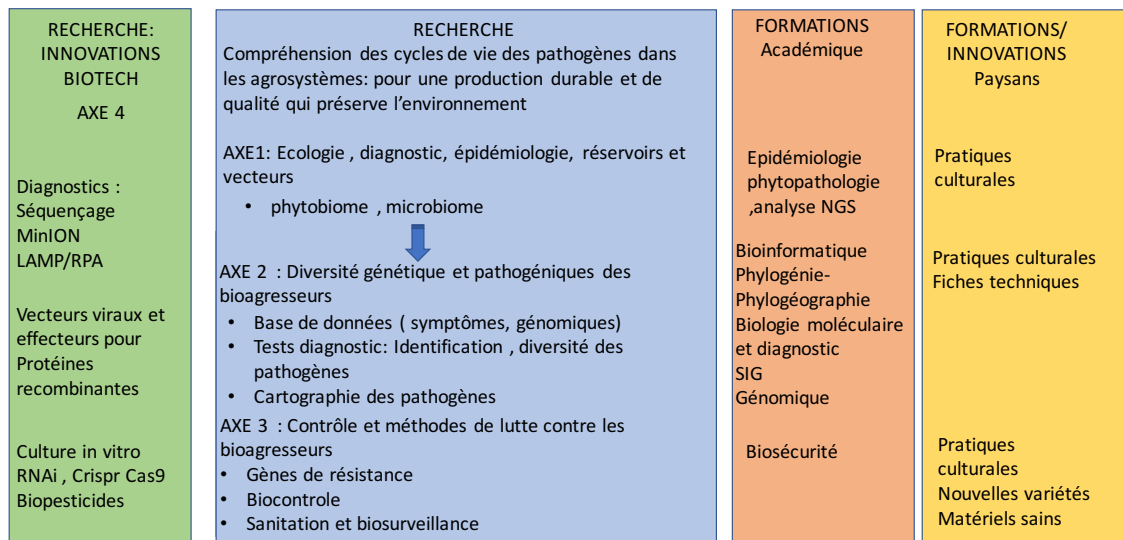
Le projet a une approche multidisciplinaire dans le but de comprendre les cycles de vie des agents pathogènes dans l'agrosystème, il s'articule autour de 4 axes de recherche qui permettront de développer une base de données génomiques des pathogènes des principales plantes cultivées en Afrique de l'Ouest et Afrique centrale. A partir de cette base de données des méthodes de diagnostic seront développées pour identifier les microorganismes, évaluer leur pouvoir pathogène, identifier des sources de résistance, cartographier les maladies et assurer la biosurveillance des cultures. Ce projet introduit des concepts novateurs avec une approche utilisant la métagénomique pour l'identification des acteurs clés de l'état sanitaire et du risque sanitaire des cultures, le développement des tests de diagnostic rapides (multiplexe PCR, LAMP, ou RPA), et l'utilisation de nouveaux outils de séquençage de type MinION. Nos activités permettront d'identifier de nouvelles sources de résistance pour les sélectionneurs, les pratiques culturales pourront être adaptées grâce aux nouvelles connaissances acquises, de même l'utilisation de biopesticides permettront de mieux contrôler l'état sanitaire des cultures de façon pérenne tout en respectant l'environnement.

L'ensemble du projet est solidement ancré dans le renforcement des capacités: formation par la recherche de techniciens, ingénieurs, masters et doctorants; formation académique dans les universités du Burkina Faso (Universités Ouaga1, Nazi-Boni, Dédougou, St Thomas d'Aquin); et formation pour les paysans pour assurer le transfert des résultats de nos recherches.

Enfin, il est utile de rajouter que ce projet par son expertise et dans sa démarche est unique en Afrique de l'Ouest et qu'il pourra s'associer à d'autres initiatives similaires notamment en Afrique de l'Est (par exemple le BecA au Kenya ou l'Université de Durban ou du Cap en Afrique du Sud). La forte mobilisation des chercheurs et des enseignants-chercheurs sur ce projet conduira à la transformation du LMI en Centre d'Excellence Africain dans le domaine de la sécurité alimentaire.

**Figure 1** : Organisation des activités du LMI PathoBios pour la période 2018-2023

## Perspective : Reconduction du LMI PathoBios



### Résultats attendus

Dans la suite des résultats obtenus par le LMI PathoBios de 2013 à 2018, nous attendons de la reconduction du LMI :

- une meilleure connaissance des agrosystèmes pour optimiser la production des cultures de façon durable en préservant les ressources de l'agrosystème,
- des tests de diagnostic adaptés pour la biosurveillance des cultures, des semences, des semenceaux dans les différentes filières, et du matériel végétal aux frontières,
- la connaissance de la diversité des agents pathogènes et leur cartographie, l'identification des ressources pour les résistances variétales. Une base de données unique pour l'AO (et peut-être l'Afrique Centrale) rassemblera les maladies, symptômes (photos), séquences, localisation, et sources de résistance,
- une biosurveillance effective sur les cultures, les semences et semenceaux. La qualité sanitaire du matériel végétal sera améliorée,
- l'identification de plantes et de molécules pouvant être utilisés en biopesticide,
- la mise à disposition d'applications pour les paysans avec des informations sur les variétés, les pratiques culturales, les biopesticides, et des fiches techniques sur les principales maladies,
- la publication de nos travaux dans des revues de rang A ce qui permettra une meilleure lisibilité à l'international,
- le renforcement des cursus de masters et de la formation des doctorants,
- le renforcement du partenariat entre l'IRD, le CIRAD et l'UCL et les différents instituts du Burkina Faso SUD-NORD, ainsi qu'entre les instituts burkinabés et ceux de la sous-région notamment (SUD –SUD),
- une meilleure visibilité des projets de recherche qui seront ainsi plus compétitifs pour les appels d'offre augmentant les capacités de financement,
- la transformation du LMI en Laboratoire d'Excellence pour l'AO.

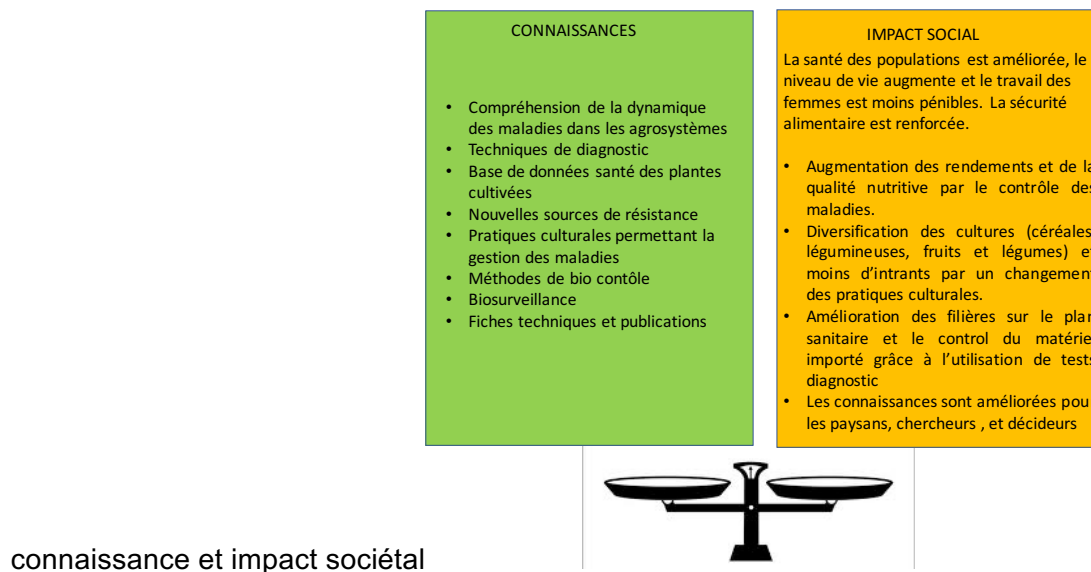
### 4. Projet scientifique et problématiques de développement : articulation, équilibre entre développement des connaissances et perspectives d'impact sociétal

Le projet scientifique est associé étroitement aux problématiques de développement, il a fait l'objet d'un atelier qui s'est tenu en Juin 2017 à Ouagadougou où avec les représentants du ministère de l'agriculture, l'INERA, et les universités nous avons pu établir une liste des priorités nationales et les grands axes du projet de poursuite du LMI PathoBios pour 2018-2023. L'articulation entre recherche

et impact sociétal pour la formation académique (futur chercheur et décideur) et pour la formation des acteurs de terrain (amélioration de la production, de l'environnement et de la santé des petits producteurs) se fera principalement par (1) l'amélioration du diagnostic en santé végétale (2) la découverte de nouvelles sources de résistance variétale (3) la mise aux points de nouveaux outils de biotechnologies (4) la mise en place de nouvelles pratiques culturales: cultures associées, rotation des cultures, diminution des intrants, suppression des pesticides conventionnels (Figure 1). Ces derniers sont pour la plupart interdits en Europe, avec un mode d'emploi en anglais, le manipulateur est en général analphabète et n'a pas reçu de formation à l'utilisation des produits, ni de vêtement et procédure de protection pour lui-même, les femmes et les enfants.

La figure 2 présente une synthèse des résultats attendus en termes de connaissances d'une part et d'impact social d'autre part.

**Figure 2 :** Equilibre dans les activités prévues dans la seconde phase du LMI PathoBios entre



## 5. Présentation du partenariat et de la gouvernance

### Un Partenariat élargi

L'IRD et l'INERA souhaitent ouvrir le LMI à deux nouveaux partenaires européens: le CIRAD et l'Université Catholique de Louvain (UCL, Belgique). L'objectif de ce partenariat élargi est un rayonnement accru et un renforcement sur le plan des ressources humaines et certainement sur le plan financier.

L'UCL et l'Université Nazi Boni (UNB) de Bobo-Dioulasso ont créé la **Clinique des Plantes** ou «Projet d'appui pour une production agricole durable à travers la recherche et la vulgarisation des pratiques agricoles et phytosanitaires innovantes au Burkina Faso », pour une durée de 5 ans avec un financement de la coopération Belge (ARES). Ce projet vise un approfondissement des recherches sur le développement d'itinéraires phytotechniques innovants intégrant les cultures de tomate ou d'oignon (en rotation avec d'autres cultures maraichères) et limitant les pertes liées aux organismes nuisibles de ces cultures. Un volet de renforcement des capacités en diagnostic et conseils aux producteurs, toutes cultures confondues, est inclus, ainsi que la mise en place d'antennes dans les groupements paysans, permettant le rayonnement du projet à l'échelle nationale. Le laboratoire permet le diagnostic morphologique des pathogènes fongiques. Il est ainsi complémentaire à celui du LMI PathoBios au niveau technique (expertise de diagnostic moléculaire

et sérologique) et renforce ses activités dans le domaine de la santé des plantes dans les domaines de la recherche et de la formation.

A l'INERA Kamboinsé, le laboratoire d'entomologie rejoindrait les deux laboratoires du LMI actuel (virologie et biotechnologies végétales et phytopathologie) afin de former un groupe plus performant et dynamique vis-à-vis des ennemis des cultures et de la santé des plantes. A l'INERA Farako-Bâ, le LMI PathoBios est implanté au laboratoire de phytopathologie de la Protection des végétaux ; mais il apportera aussi son soutien au laboratoire commun de biotechnologies.

Au niveau universitaire, l'Université de Ouaga I, Pr. Joseph KI-ZERBO, l'Université NAZI-BONI de Bobo, l'université de Dédougou et l'Université Saint Thomas d'Aquin feront partie de l'élargissement du LMI.

Le laboratoire national de santé publique (LNSP) sera un collaborateur, notamment pour les aspects de formation.

Le LMI PathoBios, avec la clinique des plantes, prévoit de développer un réseau régional sur la santé des plantes avec des organismes comme le CORAF et en s'associant à deux ou trois pays en Afrique de l'Ouest, notamment la Côte d'Ivoire, le Mali et le Sénégal (voir partie 7).

### Gouvernance

La gouvernance est assurée par le Directeur de l'INERA et le co-directeur, de l'IRD. Les décisions seront prises au niveau du comité de direction (CoDir).

Les porteurs du projet de renouvellement du LMI PathoBios sont les Directeurs du LMI1, à savoir Bouma James Neya (INERA) et Christophe Brugidou (IRD) ainsi que Charlotte Tollenaere (IRD) qui prendra progressivement la co-direction du nouveau projet.

Les instances statutaires de fonctionnement restent les mêmes qu'au LMI1 à savoir le Comité de Direction (CoDir) et le Comité de suivi.

Les réunions du Comité de Direction se tiendront tous les 2 mois, plus précisément le dernier vendredi du deuxième mois. Ceci a l'avantage de réunir plus de participants étant donné que tous ne résident pas à Ouagadougou. Les rencontres du comité de direction pourront prendre une journée entière. Participent à cette instance les Directeurs du LMI, les Directeur (e)s des différents Laboratoires, les représentants des partenaires Nord (Cirad et UCL), les représentant(e)s de chaque Université partenaire, les représentant(e)s élus (ou suppléant(e)s) des chercheurs, des techniciens, des étudiants, et toute personne ressource que le Comité de Direction jugerait nécessaire d'inviter au regard de ses compétences et de son expérience pour les sujets à l'ordre du jour.

Pour les réunions du Comité de suivi, trois propositions ont été formulées. La première consiste à maintenir le statu quo c'est-à-dire une session par an. La deuxième propose une session tous les deux ans, avec possibilité de définir un thème précis et de faire une sélection pour les communications qui seront présentées et un bilan général des activités. Enfin la troisième proposition consiste à faire une session tous les 2 ans et entre deux sessions, tenir un atelier préparatif qui permet de faire le point des activités et de mieux préparer le comité de suivi.

Les membres du comité de suivi sont les représentants des tutelles (INERA, IRD, et les universités), le Comité de Direction, les Partenaires du réseau LMI, les représentants des organismes sous régionaux (CORAF, UEMOA, AfricaRice), les personnes ressources, l'Académie des sciences du Burkina Faso.

Si le projet de renouvellement est accepté, les directeurs convoqueront le nouveau coDir en Janvier 2019 et mettront en place les règles de fonctionnement du LMI 2. Aussi, les outils de communication comme la visioconférence (les sites de l'IRD à Ouagadougou et BoboDioulasso sont équipés) seront privilégiés pour maintenir les liens entre IRD-CIRAD-UCL-Univ Burkina Faso et INERA notamment pour le coDir.

Enfin, concernant la direction du LMI (J Neya/C Brugidou/C Tollenaere) un agenda de réunion par visioconférence sera défini pour une meilleure communication et gouvernance.

Un responsable sur chacun des deux sites sera nommé par le CoDir et aura la charge d'organiser l'animation scientifique sous forme de séminaires, journal club, événements (foires, expositions, invités). L'information sera largement diffusée via les universités et le site WEB.

### Budget

Le projet compte sur des ressources venant des tutelles, mais aussi des ressources internes venant des projets et des accueils (étudiants, chercheurs, stagiaires). Des ressources pourront aussi être dégagées des activités telles que la culture *in vitro* (pomme de terre, manioc et patate douce) ou le diagnostic (contrôle semences: technologie d'amplification isotherme LAMP ou RPA par exemple). Le financement LMI permettra d'engager des dépenses fédératrices (fonctionnement en commun, collections, développement et consolidation de partenariats) et d'explorer de nouveaux axes de recherche exploratoires et prometteurs. Il est ainsi indispensable et complémentaire des projets extérieurs, qui se poursuivent (tels que le projet WAVE), sont en train d'être initiés (deux projets financés par le Fonrid, un par BMGF, un par le Labex Agropolis) ou commenceront sous réserve d'acceptation (nombreux projets ont été soumis en 2018 à des bailleurs tels que BMGF, ANR, FFAR,...).

Les dépenses à prévoir concernent 1/ le fonctionnement des plateformes : personnels, consommables, équipements et réparations, 2/ les missions: nationales (comités de direction et prospections) ou internationales (direction, comité de suivi et formation), 3/ les actions de formation (missions et logistique) et 4/ la communication: publications, posters, soutien congrès/colloques, participation événements grand public (foire, exposition), site WEB.

### Communication

Un responsable de la communication (ou un binôme composé d'une personne sur chaque site : Kamboinsé et Bobo-Dioulasso) sera désigné. Il s'occupera du site web, d'une page facebook, d'un compte twitter, du flyer et des posters. Responsabiliser une (deux) personne(s) sur la communication permettra de mieux actualiser nos supports de communication, de mieux faire circuler l'information entre les membres du LMI, et en externe, animer nos réseaux dans le domaine de la santé des plantes et d'avoir une meilleure lisibilité sur nos activités.

### Fonctionnement des plateformes

A Kamboinsé, les plateformes de biologie moléculaire pour le diagnostic et la virologie sont opérationnelles. Dans le projet LMI-2, les laboratoires de phytopathologie pour le diagnostic des champignons et d'entomologie complèteront les plateformes techniques, ainsi que la plateforme de culture *in vitro* (production de matériel végétal sain). Enfin, une salle d'incubation, des serres et des parcelles d'expérimentation complèteront le dispositif et permettront la réalisation d'expérimentations végétales sur le site.

La Collection des Ressources Biologiques (congélateur -80°C sécurisé) est maintenue sur la représentation IRD de Ouagadougou depuis 2017.

A Bobo Dioulasso, les plateformes de biologie moléculaire, bactériologie et expérimentations végétales sont fonctionnelles. Un déplacement progressif des laboratoires vers le site de Farako-Bâ est prévu à court terme. Le laboratoire commun de biotechnologies est en effet de plus en plus opérationnel. La construction du bâtiment du CNS-FL est achevée, l'inauguration aura lieu après équipement des laboratoires et des bureaux. Le déplacement des plateformes de biologie moléculaire, bactériologie et expérimentations végétales de Bobo-Dioulasso est donc prévu à court terme avec un renforcement des capacités.

Les plateformes sont sous la Direction de J B Neya (Kamboinsé) et L Ouédraogo/I Wonni (Bobo-Dioulasso). Les projets et les accueils financés sont prioritaires pour l'utilisation des plateformes. De nouveaux projets qui répondent aux axes de recherche du LMI2 auront la possibilité d'être financé par le LMI , la sélection et la décision des projets seront approuvés en coDir sur proposition du Directeur .

Les plateformes ainsi que l'organisation des commandes et gestion du budget des plateformes sont présentés dans les annexes Bilan : plateformes.

Les parcelles d'études des maladies du riz ont été mises en place depuis 2014 sur les sites de Banfora et Karfiguela. Une extension à Banzon est en cours (saison 2018). La valorisation des résultats obtenus et l'obtention de financements spécifiques (par exemple CRP Rice) devraient permettre la pérennisation de ces activités pluriannuelles dans les meilleures conditions.

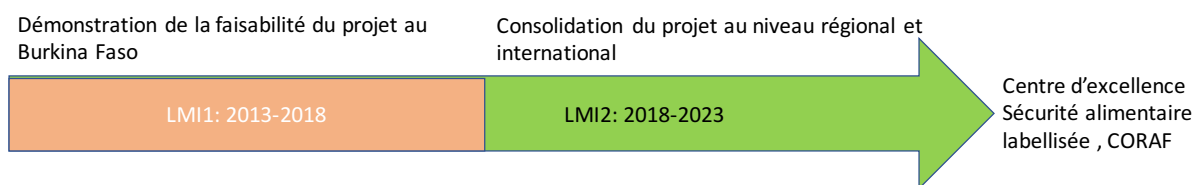
## 6. Plus-value d'une deuxième phase du LMI et perspectives envisagées au terme de celle-ci

La situation de la recherche dans le domaine de la santé des plantes au Burkina Faso est paradoxale, elle est une des meilleures en Afrique de l'Ouest et Afrique centrale pour sa recherche, ses formations en phytopathologie, et ses publications, mais elle ne dispose que de très peu de moyens.

La première phase du LMI PathoBios, en dépit de financements faibles, a permis de pallier à ces problèmes et de favoriser une dynamique collaborative, grâce à la forte motivation des personnels IRD et INERA. Malgré les événements politiques et les attaques terroristes qui ont secoué le pays (révolution en 2014, coup d'état en 2015, trois attentats à Ouagadougou entre 2016 et 2018), le bilan est bon. Nous avons prouvé que nous pouvions travailler ensemble, rassembler plusieurs universités et instituts, mobiliser des financements extérieurs significatifs, obtenir de bons résultats et publier.

Nous nous considérons maintenant à mi-chemin. Le projet de renouvellement du LMI PathoBios est construit pour acquérir une dimension régionale et internationale en se basant sur les résultats attendus de nos recherches et l'impact sociétal que cela produira. Compte tenu du bon bilan des premières années du LMI PathoBios et des attentes des partenaires burkinabés, exprimées notamment lors d'une réunion à ce sujet en juin 2017, un désengagement de l'IRD serait un signal très négatif envoyé aux partenaires de l'INERA et des universités. Mais l'engagement de la France à travers son président (E Macron), son ministre des affaires étrangères (JY Le Drian) et du président directeur général de l'IRD (JP Moatti) pour aider le Burkina Faso dans cette période difficile est plutôt rassurant. La dynamique existante en phytopathologie au Burkina Faso est réelle en dépit des difficultés existantes. Nous pensons qu'une durée supplémentaire de 5 ans sera nécessaire pour consolider la position du LMI PathoBios dans le paysage de la santé des plantes sur les plans régional et international. Pendant cette période, nous accompagnerons l'intégration du LMI dans un centre d'excellence, d'ores et déjà, une proposition a été soumise au ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique et de l'Innovation avec un Centre d'Etude, de Formation et de Recherche pour la Sécurité Alimentaire (CEFORSAN) où le Directeur et deux chercheurs du LMI Participent au comité de rédaction.

**Figure 3** : Chronologie du LMI PathoBios avec la première phase achevée et le renouvellement souhaité



## 7. Ambition à terme, notamment en termes de visibilité aux niveaux régional et international ; lien avec les dispositifs structurants au Sud déployés par ailleurs par les différents organismes parties prenantes.

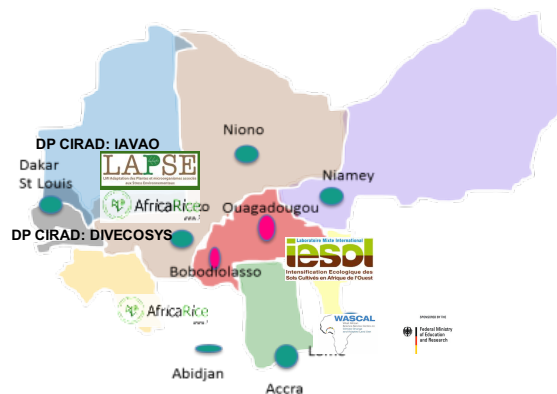
Le LMI PathoBios est unique en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale, il est complémentaire de tous les dispositifs existants qui travaillent dans le domaine de la sécurité alimentaire. Le projet a pour ambition de créer un réseau de spécialistes, d'universités, de laboratoires, et de formations doctorales autour de la santé des plantes.

Les relations entre le LMI PathoBios et les autres dispositifs structurants de la coopération française existants en AO, ainsi que les collaborations des projets phares du LMI PathoBios avec les pays de la sous-région sont représentés dans la Figure 4.

**Figure 4** : Intégration du LMI PathoBios dans les dispositifs structurants de l'AO



## Perspective : Reconduction du LMI PathoBios



Liens avec les dispositifs structurants

### EUROPE:

#### France

- **JEAI CoANA** Université de Bamako , Biosurveillance des pathogènes , projet one health
- **LMI LAPSE** : Phytobiome Riz , accueils masters en phytopathologie (UCAD)
- **LMI IESOL**: Microbiome, analyse du sol
- **DP Divecosys** : Gestion Agroécologique des bioagresseurs en Afrique de l'Ouest: Diagnostic , pratiques culturales
- **DP IAVAO** : Innovation et Amélioration Variétale en Afrique de l'Ouest. Projet AMINATA , projet phénotypage résistance.

#### Allemagne

- **WASCAL** : changement climatique ( Mali, Côte d'Ivoire, Ghana, Bénin, Sénégal, Burkina Faso)

#### USA

- Projet **NSF**- Université Cornell , université Davis : Formation pathogènes Sénégal, Côte d'Ivoire, Mali, Burkina Faso

#### International

- CGIAR (**AfricaRice** (CRP-Rice, parcelles d'étude, maladies du riz; **CIAT, IRRI**))

#### Fondation Privée :

- BMGF-Projet **WAVE** : Nigeria, Côte d'Ivoire, Bénin, Togo, Mali, Burkina Faso : Manioc-Patate douce-Igname
- BMGF-Projet Genome Editing Rice, Burkina Faso-France-Allemagne-USA

Le LMI PathoBios s'insère dans un ensemble d'outils du partenariat de l'IRD en Afrique de l'Ouest : les LMI LAPSE (Adaptation des Plantes et Microorganismes associés au Stress Environnementaux), IESOL (Intensification Ecologique des Sols Cultivés en Afrique de l'Ouest) et LAMIVECT (Maladies à Vecteurs en Afrique de l'Ouest) et la Jeune Equipe Associée à l'IRD (JEAI) CoANA (Coalition contre les Agresseurs Nuisibles à l'Agriculture) du Mali. Nous continuerons à proposer des projets en communs (thématiques du phytobiome, microbiome, one health), des formations communes (NGS, bio-statistiques), à échanger sur nos activités de recherche (invitations croisées), aussi à participer aux échanges Sud-Sud d'étudiants et de chercheurs entre le Sénégal et le Burkina Faso (AMINATA, réflexion sur un module phytopathologie-symbiose entre les LMI du Sénégal et Burkina Faso).

En particulier, les besoins sont forts en phytopathologie au Sénégal, car les principales universités (UCAD) et instituts (ISRA) du pays manquent de chercheurs et d'enseignants compétents. Les chercheurs de l'IRD Montpellier contribuent au travers de l'organisation d'un module de Master de l'UCAD notamment par visioconférence. Le réseau du LMI PathoBios permettra de lever des fonds pour financer des interventions de phytopathologiste du Burkina Faso. Par ailleurs, l'offre de stage étant limitée en phytopathologie au Sénégal, deux étudiants de Master ont été accueillis pour 4-6 mois sur les plateformes du LMI PathoBios en 2017-2018 (co-financement LAPSE-PathoBios). Le LMI PathoBios poursuivra ce type d'initiatives à l'avenir en termes d'échanges d'étudiants du Sénégal et du Burkina Faso.

Il est aussi en relation avec les deux dispositifs en partenariat (DP) du CIRAD: le DP DIVECOSYS (Gestion Agroécologique des bioagresseurs en Afrique de l'Ouest: Diagnostic, pratiques culturales) pour l'identification des bioagresseurs et la lutte intégrée, et le DP IAVAO (Innovation et Amélioration Variétale en Afrique de l'Ouest) pour la mise en place de plateformes de phénotypage pour la résistance aux bioagresseurs. Ce rapprochement déjà initié devrait se confirmer dans les années

qui viennent notamment au travers du projet AMINATA (Amélioration variétale et innovations agroécologiques pour une transition alimentaire en Afrique de l'Ouest) soumis pour ERASMUS+.

Un exemple d'action conjointe est l'organisation annuelle d'une formation en « Analyses biostatistiques avec le logiciel R » à Bobo-Dioulasso dont la première édition a eu lieu en 2017 avec des organisateurs et formateurs IRD des LMI PathoBios et LAMIVECT et du Cirad DP ASAP (Système Agro-Sylvo-Pastoraux en Afrique de l'Ouest).

Nous renforcerons nos liens déjà existant à travers le CRP-RICE avec AfricaRice, pour le développement des parcelles sentinelles en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso, des tests de diagnostic multipathogènes, sur le microbiome du riz, la base de données d'agents pathogènes du riz etc... Une formation internationale annuelle sur le riz et la riziculture, dont les sessions précédentes avaient lieu en Asie, aura lieu en Afrique pendant 5 ans (financement NSF). La première édition aura lieu à St Louis (Sénégal) en 2018, avec des étudiants et intervenants du LMI PathoBios. Nous espérons qu'une des sessions aura lieu au Burkina Faso, où les compétences en riziculture et la proximité des sites sont des atouts clés, bien qu'un renforcement de la sécurité et le développement en cours des infrastructures (laboratoires mais aussi hébergement) à Farako-Bâ soient des pré-requis.

Plusieurs projets de recherche en cours ont une dimension sous-régionale. Par exemple, le projet Wave inclus des partenaires du Nigeria, de la Côte d'Ivoire, du Bénin, du Togo, et du Mali. Il crée ainsi un réseau international solide pour lutter contre les virus des plants à tubercules (manioc notamment). Un autre exemple est le projet « Transformative strategy for controlling rice disease in developing countries » qui travaillera en partenariat avec le Niger, la Côte d'Ivoire et le Ghana (échanges d'étudiants, échantillonnage).

La diversité des bailleurs impliqués dans ces projets reflète aussi l'importance de la thématique portée par le LMI pour la sécurité alimentaire des populations de la région.

Nous poursuivrons notre rapprochement avec le dispositif WASCAL (West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use), pour développer en commun des projets sur l'impact des changements climatiques sur la virulence des pathogènes et l'émergence des épidémies. Ce rapprochement est d'autant plus important qu'il est probable qu'une augmentation de la température et une baisse des précipitations va perturber les interactions entre les plantes et les bioagresseurs, et ainsi, favoriser de nouvelles épidémies.

Enfin, avec nos collègues des universités de Ouaga<sup>1</sup> professeur Ki-Zerbo, Nazi-Boni, St Thomas d'Aquin nous mettrons en place un réseau des formations doctorales « santé des plantes » (similaire au réseau développé par WASCAL) avec les pays d'AO et AC : Sénégal, Togo, Bénin, Côte d'Ivoire, Tchad, Mali, Niger, Nigeria, Cameroun, Centre Afrique et République Démocratique du Congo. Une demande spécifique à l'IRD et l'AUF pourrait être soumise pour soutenir cette initiative.